



**João Miguel Branco de Brito**

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

## **Caracterização da flutuação do tráfego na cidade de Lisboa**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil Construção

Orientadora: Doutora Sandra Vieira Gomes, Investigadora LNEC

Co-Orientadora: Doutora Simona Fontul, Professora auxiliar convidada, FCT/UNL

Júri

Presidente: Doutor Mário Jorge Rodrigues Pereira da Franca

Arguente: Engenheiro Luís Manuel Trindade Quaresma

Vogais: Doutora Sandra Cristina Gil Vieira Gomes

Doutora Simona Fontul



‘Copyright’ de João Miguel Branco de Brito, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer às Professoras Sandra Vieira Gomes e Simona Fontul pela orientação prestada nesta dissertação e pelo espectacular apoio que sempre demonstraram ao longo dos últimos meses de trabalho. Deixar uma saudação de agradecimento ao LNEC em particular ao Núcleo de Planeamento de Transportes e Segurança pelos dados fornecidos e pela disponibilidade fornecida às investigadoras acima mencionadas no decurso da dissertação.

Os agradecimentos mais sentidos não poderiam deixar de ser entregues aos meus Pais porque sem o apoio deles a obtenção do curso de Engenharia Civil não seria possível nesta digníssima instituição de ensino superior.

À minha família, um cumprimento muito especial ao meu irmão Francisco, às Avós Marias e Avôs Manuel e João (já falecido) e o maior agradecimento por estarem sempre ao meu lado.

A realização deste trabalho marca o final de uma etapa na vida de um ser humano, tal não seria possível de ter corrido da melhor maneira senão tivesse o apoio da minha namorada Dora e dos meus companheiros de estudo. Foi com eles que vivi os últimos 6 anos da minha vida, mas a amizade de Alessia Masini, André Valério, Fábio Pereira, Felipe Inácio, Inês Teixeira, Jeremie, João Inverno, João Matos, Marco Raposeira, Maria João, Margarida Figueira, Michael Carvalho, Raquel Marques, Rui Silva, Raúl Alves, Thiago Gomes, Tiago Coelho, Tiago Patrício e Vítor Lopes vai andar sempre comigo.

Na terra natal, a amizade de Lita, Inês, Susana e Pedro foi sempre importante para que o trabalho corresse pelo melhor caminho.

Um Muito Obrigado a todos os que todos os dias me fazem ser feliz!



## Resumo

O conhecimento do volume de tráfego pode ser considerado uma ferramenta fundamental no domínio dos estudos rodoviários, nomeadamente: na análise de congestionamentos, tarefas de planeamento, previsões de tráfego, ordenamento do território, manutenção de pavimentos, estudos de segurança, emissões de gases, entre outros. Os custos associados às contagens manuais ou automáticas inviabilizam muitas vezes a adaptação destas técnicas para a caracterização do tráfego, pelo que o recurso a estimativas do valor de Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) reveste-se de particular interesse.

O presente trabalho pretende apresentar uma metodologia expedita para estimar o TMDA na rede viária urbana da cidade de Lisboa através do estabelecimento de factores de ajustamento horários, diários e mensais, com base em dados de tráfego obtidos a partir de sistemas de gestão de tráfego disponíveis na cidade (*GERTRUDE* e *SICIT*). A metodologia proposta compreende três níveis da rede viária hierárquica, de acordo com o *Plano de mobilidade da cidade de Lisboa*, para os quais foi feita a caracterização da variação anual, semanal e diária do tráfego médio.

Com base na variação observada foram criados factores de ajustamento que permitem a extrapolação para 24h de dados provenientes de contagens de curta-duração, bem como o ajuste de contagens diárias ao valor de TMDA. Uma vez que neste estudo, o cálculo destes factores foi feito através de uma amostra significativa, pode-se afirmar que a robustez dos resultados obtidos é elevada, o que contribui para a obtenção de uma boa estimativa do TMDA para a cidade de Lisboa.

Apresenta-se ainda um exemplo de aplicação da metodologia proposta a contagens de tráfego reais, que permitiu confirmar a eficácia da mesma.

**Palavras-chave:** Caracterização do tráfego, Estimação TMDA, Factores de ajustamento, Rede viária urbana de Lisboa





## **Abstract**

Knowledge of the traffic volume can be considered as a fundamental tool in the field of road studies, including: the analysis of congestion, task planning, traffic forecasting, planning, pavements maintenance, safety studies, and gas emissions, among others. Due to the costs associated with manual or automatic counts, an estimated value of Annual Average Daily Traffic (AADT) can be used instead, as an alternative of these procedures.

This work aims to present an expeditious methodology to estimate the AADT in urban road network of Lisbon by establishing adjustment factors (hourly, daily and monthly) based on traffic data obtained from traffic management systems available in the city (GERTRUDE and SICIT platform). The proposed methodology addresses three hierarchical levels of the road network in accordance with the mobility plan of Lisbon. A characterization of annual, weekly and daily variation of traffic average was performed for these three levels.

Based on the observed variation, adjustment factors were developed that allow a 24h data extrapolation from short duration counts as well as the adjustment of AADT estimated values. Since in this study the calculation of these factors was done using a significant sample size, it can be stated that the robustness of the results is high, which contributes to a good AADT estimate for Lisbon.

An example of application of the proposed methodology to actual traffic counts is also presented, which confirmed the efficiency of the study.

**Keywords:** Traffic characterization, AADT estimation, adjustment factors, Lisbon urban road network



## Índice

Resumo.....	i
Abstract .....	iii
Índice de Quadros.....	vii
Índice de Figuras .....	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	xiii
1 Introdução.....	1
1.1 A aplicabilidade do tema na engenharia de transportes .....	1
1.2 Objectivos da dissertação .....	1
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
2 Métodos para aquisição de dados de tráfego .....	3
2.1 Métodos intrusivos .....	3
2.1.1 Tubos pneumáticos.....	3
2.1.2 Laços indutivos.....	4
2.1.3 Detectores magnéticos.....	5
2.1.4 Cabos de fibra óptica .....	6
2.1.5 Sistemas WIM – Weight in motion .....	7
2.2 Métodos não - intrusivos .....	12
2.2.1 Sistemas de detecção de imagens vídeo .....	13
2.2.2 Radares microondas .....	16
2.2.3 Sistemas de detecção laser.....	18
2.2.4 Sistemas de infravermelhos.....	19
2.2.5 Sistemas acústicos passivos.....	22
2.2.6 Sistemas de ultra-sons .....	23
2.2.7 Outros sistemas de detecção de veículos.....	24
2.2.8 Recolha de dados manual .....	26
2.3 Sistematização das técnicas disponíveis para contagem .....	29
2.4 Modelos de afectação de tráfego .....	32
2.5 Sistemas de gestão de tráfego.....	34
2.5.1 Sistema GERTRUDE .....	34
2.5.2 Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego.....	35
3 Enquadramento da rede viária da cidade de Lisboa .....	37
3.1 Objectivo do enquadramento.....	37
3.2 Enquadramento histórico da cidade.....	37

3.3	Enquadramento geográfico da cidade .....	40
3.4	Estrutura da rede rodoviária .....	41
3.4.1	Enquadramento teórico da hierarquização .....	41
3.4.2	Rede rodoviária nacional.....	42
3.4.3	Rede rodoviária do município de Lisboa.....	43
4	Metodologia para estimação de TMDA na cidade de Lisboa .....	51
4.1	Enquadramento teórico da metodologia.....	51
4.1.1	Programas de contagens .....	51
4.1.2	Cálculo do Tráfego Médio Diário Anual.....	52
4.1.3	Erros e precisão na estimativa de Tráfego Médio Diário Anual .....	54
4.2	Informação recolhida.....	55
4.2.1	Identificação dos locais de contagem .....	56
4.2.2	Agrupamento dos postos de contagem na cidade de Lisboa .....	64
4.3	Caracterização do tráfego .....	68
4.3.1	Variação do tráfego horário.....	68
4.3.2	Variação semanal de tráfego diário .....	70
4.3.3	Variação anual do tráfego mensal .....	71
4.3.4	Análise da variação do tráfego .....	73
4.4	Estimação do TMDA para contagens de curta duração .....	74
4.4.1	Factores de ajustamento horários .....	74
4.4.2	Factores de ajustamento diários.....	77
4.4.3	Factores de ajustamento mensais.....	79
4.4.4	Análise da variação dos factores de ajustamento .....	81
4.5	Extensão da metodologia a contagens de duração variável.....	82
4.6	Aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais.....	84
5	Conclusões e Desenvolvimentos futuros.....	89
5.1	Conclusões e observações ao trabalho desenvolvido .....	89
5.2	Desenvolvimentos futuros .....	90
	Referências Bibliográficas .....	93
	Anexo I – Volumes de tráfego médios para os grupos de postos de contagem.....	101
	Anexo II – Factores de ajustamento (quadros complementares).....	105
	Anexo III – Valores de cálculo para a extensão da metodologia .....	109

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Classificação dos veículos proposta pela <i>Estradas de Portugal, S.A.</i> .....	26
Quadro 2.2 - Síntese das tecnologias intrusivas para recolha de dados de tráfego, vantagens e desvantagens (adaptado de Hallenbeck & Weinblatt, 2004; Padmavathi & al, 2010).....	30
Quadro 2.3 - Síntese das tecnologias não-intrusivas para recolha de dados de tráfego, vantagens e desvantagens (adaptado de Hallenbeck & Weinblatt, 2004; Padmavathi & al, 2010).....	31
Quadro 3.1 - Hierarquização da rede viária proposta na bibliografia (CML, 2005) .....	44
Quadro 3.2 - Características dos níveis hierárquicos da rede viária (adaptado de CML, 2005) .....	46
Quadro 3.3 - Distribuição das principais vias por nível e tipo de ligação (adaptado de CML, 2005)... ..	47
Quadro 3.4 - Principais vias de destino na cidade de Lisboa na HPM (CML, 2005).....	48
Quadro 4.1 - Identificação das zonas analisadas na rede de 2º e 3º nível e respectiva localização na cidade de Lisboa.....	55
Quadro 4.2 - Identificação das localizações e dados disponíveis na rede de 1º nível .....	57
Quadro 4.3 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 1 (Praça do Comércio) .....	59
Quadro 4.4 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 2 (Restauradores) ...	59
Quadro 4.5 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 3 (Marquês de Pombal) .....	60
Quadro 4.6 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 4 (Saldanha).....	60
Quadro 4.7 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 5 (Campo Pequeno) ..	60
Quadro 4.8 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 6 (Roma) .....	61
Quadro 4.9 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 7 (Areeiro) .....	62
Quadro 4.10 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 8 (Alcântara) .....	62
Quadro 4.11 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 9 (Praça de Espanha) .....	63
Quadro 4.12 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 10 (Parque das Nações).....	63
Quadro 4.13 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 11 (rotunda do aeroporto) .....	63
Quadro 4.14 - Valores de TMDA de cada grupo de postos de contagem e intervalos de decisão .....	65
Quadro 4.15 - Agrupamento dos postos de contagem da rede de 1º nível .....	65
Quadro 4.16 - Agrupamento dos postos de contagem das redes de 2º e 3º nível .....	66
Quadro 4.17 - TMDA de referência para cada grupo de postos de contagem.....	68
Quadro 4.18 - Factores de ajustamento horários médios para os dias úteis .....	75

Quadro 4.19 - Factores de ajustamento horários médios para o fim-de-semana.....	75
Quadro 4.20- Factores de ajustamento diários .....	78
Quadro 4.21- Factores de ajustamento mensais para os três níveis da rede .....	79
Quadro 4.22- Volume de tráfego para exemplo de aplicação .....	83
Quadro 4.23 - Postos de contagem utilizados na aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais .....	84
Quadro 4.24 - Aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais e estimação do $TMDA_{Br\grave{a}to}$ .....	85
Quadro 4.25- Variação entre o $TMDA_{LNEC}$ e o $TMDA_{Br\grave{a}to}$ .....	86

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Instalação de tubos pneumáticos numa via de rodagem (Rodrigue, 2011).....	4
Figura 2.2 - Esquema de funcionamento dos DLI (Klein, Mills, & Gibson, 2006) .....	5
Figura 2.3 - Anomalia no campo magnético terrestre induzido por dipolo magnético (DNIT & UFSC, 2007).....	5
Figura 2.4 - Magnetómetro de fluxo bi-axial à esquerda (Klein, Mills, & Gibson, 2006) e magnetómetro de indução à direita (DNIT & UFSC, 2007) .....	6
Figura 2.5 - Instalação dos cabos de fibra óptica na via de rodagem (Halvorsen & Motzko, 2000).....	7
Figura 2.6 - Configuração típica da instalação do sistema WIM (Mimbela & Klein, 2000) .....	8
Figura 2.7 - Esquema de funcionamento de um sensor piezoeléctrico (adaptado de César Cassiolato; SMAR, 2010) .....	8
Figura 2.8 - Esquema de instalação dos piezopolímeros na via de rodagem (adaptado de Measurement Specialties, 2011) .....	9
Figura 2.9 - Ilustração da composição dos sensores de capacitância (Electronic Design, 2008).....	10
Figura 2.10 - Instalação de sensores de capacitância na via de rodagem (Mimbela & Klein, 2000) ....	11
Figura 2.11 - Montagem de placas de dobragem numa via de rodagem (Crabtree, 1995).....	11
Figura 2.12 - Montagem de células de carga hidráulica numa via de rodagem (FHWA, 2011).....	12
Figura 2.13 - Exemplo de câmara de vídeo (esquerda) e equipamento para processamento de imagem (direita) (Klein, Mills, & Gibson, 2006) .....	14
Figura 2.14- Esquema do processamento de sinal dos sistemas de detecção vídeo (adaptado de Mimbela & Klein, 2000) .....	15
Figura 2.15 - Distinção entre dois veículos próximos entre si (adaptado de Klein, Mills, & Gibson, 2006).....	16
Figura 2.16 - Princípio de funcionamento de um radar microondas (adaptado de Mimbela & Klein, 2000).....	16
Figura 2.17 - Marcação das zonas de detecção dos sensores (adaptado de Klein, Mills, & Gibson, 2006).....	17
Figura 2.18 - Esquema de montagem dos sensores laser (adaptado de Klein, Mills, & Gibson, 2006)	18
Figura 2.19 - Exemplos de sensores passivos de infravermelhos (Klein, Mills, & Gibson, 2006) .....	19
Figura 2.20 - Esquema de detecção de energia a partir de um sensor infravermelho (adaptado de Mimbela & Klein, 2000) .....	20
Figura 2.21 - Espectro electromagnético (Grimm, 1999).....	21
Figura 2.22 – Detecção de múltiplas vias com sensor acústico passivo tipo SAS-1 da Smartek Systems Inc (adaptado de SmarTek Systems Inc., 2008).....	22

Figura 2.23- Montagens tipo de sensores de ultra-sons: instalação na horizontal (à esquerda) e instalação num plano vertical (à direita) (adaptado de MS Sedco, 2010) .....	23
Figura 2.24 - Dispositivo electrónico comercializado pela <i>Via Verde</i> com tecnologia RFID .....	25
Figura 2.25 - Instalação de um sensor sem fios ( <i>node</i> ) na superfície do pavimento (Knaian, 2000)....	25
Figura 2.26 - Impresso genérico para o registo da contagem classificada de tráfego (Estradas de Portugal, S.A., 2012) .....	27
Figura 2.27 - Inquérito origem-destino utilizado pela <i>Estradas de Portugal, S.A.</i> .....	29
Figura 2.28 -Esquematização do modelo de atribuição de tráfego de quatro passos (Vasconcelos, 2004).....	33
Figura 2.29- Analogia de um troço da rede viária a uma "garrafa" (Vieira, 2004) .....	35
Figura 3.1 - Ilustração da "Cerca Nova" construída em 1373 (à esquerda) e do Aqueduto das Águas Livres (à direita) (CML, 2007).....	38
Figura 3.2 - Planta de Lisboa proposta por Eugénio dos Santos em 1756 e completada por Carlos Mardel (França, 1980).....	38
Figura 3.3 - Esquema da rede viária da "Grande Lisboa" em 1952 .....	40
Figura 3.4 - Carta hipsométrica da cidade de Lisboa (CML, 2010).....	41
Figura 3.5 - Esquematização da hierarquização da rede viária (Cours Ville et Transport – Epfl-Litep – Suíça <i>apud</i> IMTT, 2011) .....	42
Figura 3.6 - Rede viária para a cidade de Lisboa (fornecido por Ana Paula Dias – C.M.L.).....	44
Figura 3.7 – Veículos.km distribuídos pela rede hierárquica (Fonte: TIS.pt- Modelo de Tráfego da Cidade de Lisboa <i>apud</i> CML, 2005) .....	45
Figura 4.1 - Disposição geográfica dos postos de contagem na rede de 1º nível (Fonte: <i>Google Maps</i> ) .....	56
Figura 4.2 - Disposição geográfica dos postos de contagem na rede de 2º nível .....	58
Figura 4.3 - Disposição geográfica dos postos de contagem na rede de 3º nível .....	58
Figura 4.4 - Variação de tráfego médio horário na rede de 1º nível.....	69
Figura 4.5 - Variação de tráfego médio horário na rede de 2º nível.....	69
Figura 4.6 - Variação de tráfego médio horário na rede de 3º nível.....	69
Figura 4.7 - Variação semanal do tráfego médio diário na rede de 1º nível.....	70
Figura 4.8 - Variação semanal do tráfego médio diário na rede de 2º nível.....	70
Figura 4.9 - Variação semanal do tráfego médio diário na rede de 3º nível.....	71
Figura 4.10 - Variação anual do TMDM para vias do 1º nível .....	72
Figura 4.11 - Variação anual do TMDM para vias do 2º nível .....	72
Figura 4.12 - Variação anual do TMDM para vias do 3º nível .....	73
Figura 4.13 - Variação dos factores de ajustamento horários para a rede de 1º nível .....	76
Figura 4.14 - Variação dos factores de ajustamento horários para a rede de 2º nível .....	76
Figura 4.15 - Variação dos factores de ajustamento horários para a rede de 3º nível .....	77



Figura 4.16 - Variação dos factores de ajustamento diários na rede de 1º nível .....	78
Figura 4.17- Variação dos factores de ajustamento diários na rede de 2º nível .....	78
Figura 4.18 - Variação dos factores de ajustamento diários na rede de 3º nível .....	79
Figura 4.19 - Variação anual dos factores de ajustamento mensal na rede de 1ºnível .....	80
Figura 4.20 - Variação anual dos factores de ajustamento mensal na rede de 2ºnível .....	80
Figura 4.21 - Variação anual dos factores de ajustamento mensal na rede de 3ºnível .....	80
Figura 4.22- Selecção das percentagens horárias do TMD para o exemplo de aplicação .....	83
Figura 4.23 - Variação entre o TMDA de referência e os TMDA estimados (LNEC e Brito) .....	87



## Lista de Abreviaturas e Siglas

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

Av. - Avenida

AVI – *Automatic Vehicle Identification* (identificação automática de veículos)

CML – Câmara Municipal de Lisboa

D. – Dom

DLI - Detectores de laços indutivos

EM – Estradas Municipais

EN – Estradas Nacionais

ER – Estradas Regionais

GERTRUDE - Gestão Electrónica de Regulação do Tráfego Rodoviário Urbano Desafiando os Engarrafamentos

IC – Itinerários Complementares

IP – Itinerários Principais

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NPTS – Núcleo de Planeamento, Transportes e Segurança

Pç. - Praça

PRN – Plano Rodoviário Nacional

R. - Rua

RFID - *Radio Frequency Identification* (identificação por rádio frequência)

SICIT - Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego

SPTC - *Short-period traffic counts* (contagens de curta-duração)

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

TMDAP - Tráfego Médio Diário Anual de Pesados

TMDM – Tráfego Médio Diário Mensal

TMD – Tráfego Médio Diário

TMG – *Traffic Monitoring Guide* (Guia de Monitorização de Tráfego)

WIM – *Weight in motion* (pesar em movimento)



# **1 Introdução**

## **1.1 A aplicabilidade do tema na engenharia de transportes**

O conhecimento do fluxo de tráfego numa determinada estrada em meio urbano é actualmente de extrema importância em diversos estudos, como sejam a análise de congestionamentos, as tarefas de planeamento, as previsões de tráfego, o ordenamento do território, a manutenção de pavimentos, os estudos de segurança, as emissões de gases, entre outros. (AASHTO, 1992 & Erhunmwunsee, 1991).

A realização de um estudo do tráfego, apesar de ser um elemento essencial em variadíssimas missões na área de engenharia, pode não ser viável em termos económicos, pois implica instalar equipamentos de contagens contínuas em todos os locais que necessitem de ser analisados. Desta forma surge a necessidade de estabelecer programas de contagens de pequena duração por forma a ter acesso ao volume de tráfego que passa sobre determinada secção e desta forma formular o Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) de uma estrada.

Para estimar o TMDA de uma determinada estrada não basta contabilizar o volume de veículos que atravessa o conjunto de vias em análise numa hora e multiplicar por 24h. O tráfego que circula num conjunto de vias não é constante ao longo do tempo, sofrendo um conjunto de variações: anuais, semanais, diárias e horárias. No ciclo anual, o tráfego com carácter urbano ou industrial apresenta, no entanto, as distribuições mais uniformes. Por outro lado, numa análise semanal, verifica-se que em dias laborais o tráfego difere do fim-de-semana e nos estudos de tráfego torna-se interessante estudar as variações que ocorrem ao longo de um dia. Analisando a variação do ciclo de tráfego diário *é normal que 80 a 90% do tráfego se produza nas 16 horas compreendidas entre as 6 da manhã e as 10 da noite* (Valdes, 1988 *apud* Cunha, 2009).

## **1.2 Objectivos da dissertação**

Os elevados custos associados às contagens manuais ou automáticas de longa duração podem ser reduzidos através da utilização de estimativas do valor de TMDA de uma determinada estrada para a qual não se conhece o comportamento do tráfego ao longo dos 365 dias do ano.

Na primeira fase deste trabalho apresentam-se os meios técnicos mais utilizados e que se encontram disponíveis para recolha de informação de tráfego rodoviário. Numa segunda parte da dissertação e com base nos trabalhos já desenvolvidos por Sharma, Gulati, & Rizak (1996) e Gadda,

Kockelman, & Magoon (2007) apresenta-se uma metodologia de cálculo do TMDA para a cidade de Lisboa em estradas que apresentem um volume de tráfego semelhante a outras estradas em que existam estas contagens. Este cálculo foi efectuado considerando também uma desagregação por número de vias por sentido. Nesta metodologia pretende-se dar a conhecer as principais variações de tráfego que ocorrem na cidade de Lisboa, desenvolver factores de ajustamento/correção do TMDA e apresentar uma proposta de validação do modelo. Todo o trabalho assenta na hierarquia da rede viária proposta no relatório *Lisboa: o desafio da mobilidade* (CML, 2005), nomeadamente nos três principais níveis de distribuição de tráfego (1º, 2º e 3º).

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. No Capítulo 1 apresenta-se uma introdução ao tema a desenvolver no trabalho, bem como os objectivos a que se pretende responder.

O Capítulo 2 reúne informação sobre métodos e equipamentos existentes para a recolha de dados de tráfego que podem servir de base a uma vasta gama de estudos na área dos transportes.

No Capítulo 3 pretende-se apresentar uma breve descrição da rede rodoviária nacional com especial atenção para o Plano Rodoviário Nacional e a sua hierarquização das estradas. Uma vez que o foco deste trabalho é a cidade de Lisboa, apresenta-se a sua rede rodoviária, uma breve história sobre a evolução da cidade, as condicionantes geomorfológicas e os objectivos da divisão das estradas em níveis.

O Capítulo 4 refere-se ao objectivo central da dissertação. Começa-se por apresentar os conceitos teóricos inerentes à estimativa de TMDA, seguindo-se a explicação de como foram obtidos os dados de tráfego e agrupados os valores para o desenvolvimento da metodologia. Com base nos dados recolhidos apresentam-se as variações de tráfego que ocorrem ao longo ano, dos dias da semana e das 24h de um dia, permitindo deste modo estabelecer os factores de ajustamento do TMDA. No último ponto deste capítulo apresenta-se uma aplicação da metodologia de estimação de TMDA a contagens de tráfego reais.

Finalmente no Capítulo 5, apresenta-se a conclusão de todo o trabalho desenvolvido, bem como as considerações para trabalhos futuros.

## 2 Métodos para aquisição de dados de tráfego

Apresenta-se neste capítulo os diversos métodos de contagem de veículos existentes, os quais podem ser subdivididos em dois grupos: intrusivos e não-intrusivos. Trata-se de uma divisão proposta em diversas publicações, das quais se destaca AASHTO (2009), Leduc (2008) e (Mimbela & Klein, 2000). Com base na bibliografia citada, procede-se de seguida à descrição de meios e equipamentos utilizados em cada um dos grupos.

### 2.1 Métodos intrusivos

Ao longo dos anos um largo número de sensores intrusivos foram desenvolvidos e aplicados para contagens de tráfego, sendo os mais comuns designados por tubos pneumáticos (*pneumatic road tubes*) e laços indutivos (*inductive loops*). Duma forma geral, os métodos intrusivos consistem na utilização de um dispositivo que regista os dados recolhidos e um sensor disposto na via de tráfego.

#### 2.1.1 Tubos pneumáticos<sup>1</sup>

Trata-se de tubos ocos construídos com material em borracha que são colocados ao longo da faixa de rodagem perpendicularmente ao fluxo de tráfego. O princípio de funcionamento consiste na sua compressão aquando da passagem de um eixo do veículo, forçando o ar através do comutador, o qual fecha e envia um sinal eléctrico para o sistema electrónico de registo de dados (DNIT & UFSC, 2007) também apresentado na Figura 2.1.

Este método apresenta como vantagens o facto de ser económico, necessitar de baixa potência eléctrica para o seu funcionamento e ser facilmente instalado em estradas com baixo volume. O principal inconveniente reside no facto de os tubos necessitarem de algum tempo para recuperar a sua posição original, o que pode levar a uma subestimação em caso de elevado volume de tráfego e também devido à sensibilidade dos sensores face à temperatura do pavimento. Com as versões mais recentes destes sensores consegue-se distinguir o tráfego em faixas diferentes. (AASHTO, 2009; DNIT & UFSC, 2007).

---

<sup>1</sup> Na literatura internacional apresenta-se como *pneumatic road tubes*.



**Figura 2.1 - Instalação de tubos pneumáticos numa via de rodagem (Rodrigue, 2011)**

### **2.1.2 Laços indutivos**

Segundo ASHTO (2009) os DLI (detectores de laços indutivos) são provavelmente os equipamentos mais comumente utilizados em detecção permanente de veículos nos Estados Unidos da América. A forma e o tamanho diferem de aplicação para aplicação, podendo ser quadrados, rectangulares ou circulares e são constituídos por um fio isolado colocado num corte com pouca profundidade no pavimento, um circuito de excitação e detecção e um cabo que leva o sinal até um dispositivo electrónico colocado na berma da faixa de rodagem.

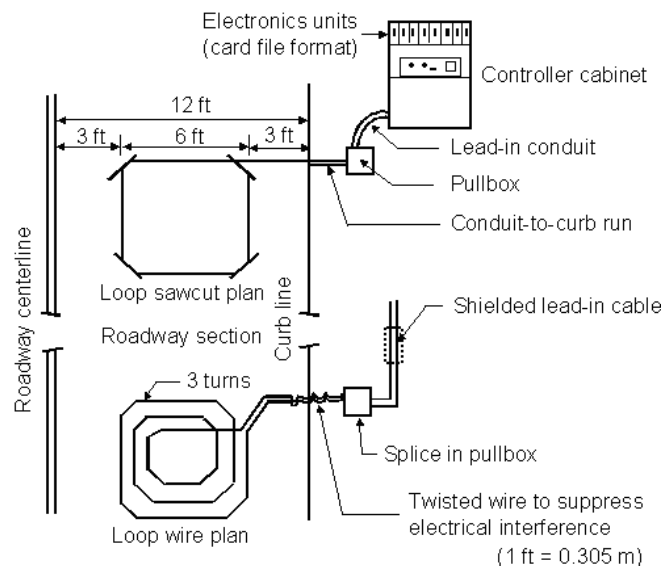
O princípio de funcionamento dos DLI consiste em fazer passar uma pequena corrente eléctrica pelos fios colocados no pavimento (Figura 2.2) com frequências que variam de 10 kHz a 50 kHz. A passagem do metal existente num veículo faz com que a indutância<sup>2</sup> do laço diminua o que por consequência permite o aumento da frequência de oscilação do excitador. O circuito de detecção, por último envia um sinal para a unidade de controlo electrónica (AASHTO, 2009; DNIT & UFSC, 2007).

Analogamente ao sistema apresentado anteriormente, os DLI são económicos quando comparados com sensores do tipo radar ou câmaras de vídeo e permitem apenas registar o número de veículos e não de eixos. Ressalve-se o facto de que quando existem veículos com pouco metal (por exemplo motociclos) este sistema pode não proceder à correcta contagem. As principais desvantagens deste tipo de equipamento residem nas fracas condições que um pavimento possa apresentar e a inadequados procedimentos de instalação do sistema. Os laços indutivos estão também sujeitos a falhas devido ao tráfego intenso e à deterioração dos circuitos electrónicos, devido à influência da temperatura ambiente (AASHTO, 2009; DNIT & UFSC, 2007).

---

<sup>2</sup> Trata-se do quociente entre o fluxo de indução através de um circuito (criado pela corrente que atravessa o circuito) pela intensidade dessa corrente.

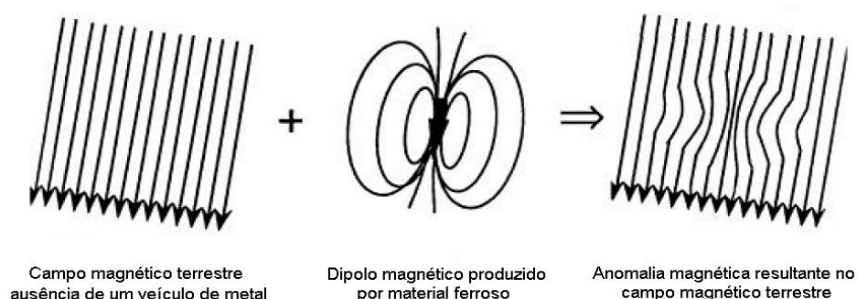




**Figura 2.2 - Esquema de funcionamento dos DLI (Klein, Mills, & Gibson, 2006)**

### 2.1.3 Detectores magnéticos

Os detectores magnéticos utilizam, à semelhança dos laços indutivos, a mesma ideia de detecção de veículos através do nível de indutância, porém com um diferente mecanismo físico. Os dispositivos magnéticos medem as alterações provocadas no campo magnético terrestre pela passagem de um veículo numa zona delimitada. Esta alteração designa-se por anomalia magnética e é produzida pelos dipolos magnéticos que existem em qualquer veículo de metal quando este entra na zona de detecção do magnetómetro<sup>3</sup>. Na figura 2.3 apresenta-se esquematicamente a soma vectorial do campo magnético do dipolo produzido pelo veículo e do campo magnético quiescente da terra. Por sua vez, um circuito electrónico colecta os dados provenientes do sensor magnético e envia-os para o pós-processamento.



**Figura 2.3 - Anomalia no campo magnético terrestre induzido por dipolo magnético (DNIT & UFSC, 2007)**

<sup>3</sup> Instrumento que mede a força atractiva entre os magnetos (vulgo íman).

Existem no mercado dois tipos de sensores para medição do campo magnético: magnetómetro de fluxo bi-axial e o magnetómetro de indução, apresentados na Figura 2.4. Ambos os sensores medem a variação nas componentes vertical e horizontal do campo magnético terrestre e o critério de detecção de um veículo passa por verificar quando a tensão excede um limite pré-determinado. A diferença entre eles reside no facto do primeiro destes permitir a detecção de veículos parados e em movimento, enquanto que o magnetómetro de indução apenas permite a detecção de veículos em movimento (Klein, Mills, & Gibson, 2006).



**Figura 2.4 - Magnetómetro de fluxo bi-axial à esquerda (Klein, Mills, & Gibson, 2006) e magnetómetro de indução à direita (DNIT & UFSC, 2007)**

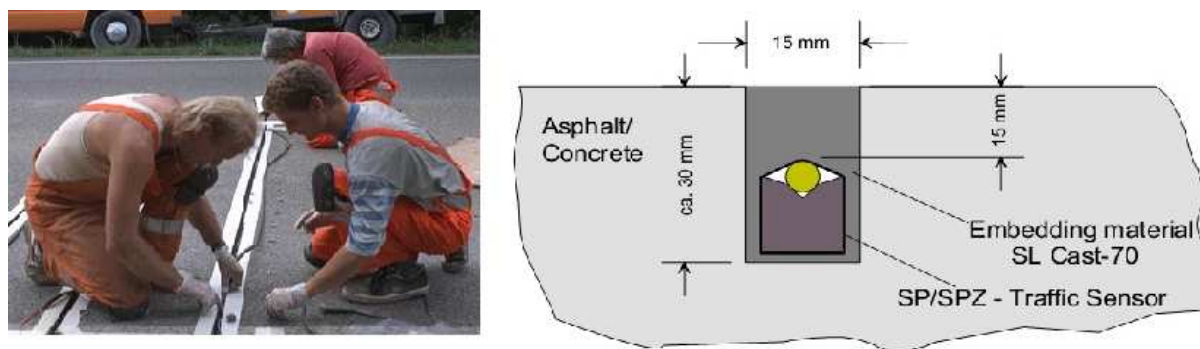
O magnetómetro de fluxo bi-axial apresenta como principal vantagem o facto de ser menos susceptível ao tráfego que o magnetómetro de indução ou ao DLI. Alguns modelos podem ser instalados no pavimento sem a necessidade de se proceder ao corte de material betuminoso. No entanto, na generalidade dos casos, têm de se efectuar cortes horizontais no pavimento para a instalação dos sensores magnéticos e alguns dispositivos possuem pequenas zonas de detecção o que pode tornar-se numa limitação.

#### **2.1.4 Cabos de fibra óptica**

A fibra óptica emergiu por volta do ano 2000 e surgiu no campo da engenharia de transportes como uma alternativa aos sistemas piezoeléctricos apresentados em 2.1.5.1. O seu princípio de funcionamento consiste na passagem dos pneus dos veículos sobre o cabo de fibra óptica que é comprimido, provocando uma diminuição da quantidade de luz que atravessa a secção do cabo. A intensidade de luz é medida através de um detector que fornece a informação acerca do número de eixos/pneus que passam sobre o cabo. À semelhança de outros sensores já apresentados, estes devem

também ser colocados perpendicularmente à faixa de rodagem sob o risco de se registrar o mesmo eixo do veículo mais de uma vez (AASHTO, 2009).

Tal como os sensores piezoelétricos, os cabos de fibra óptica podem ser instalados sobre o pavimento, desde que devidamente protegidos com uma manga de protecção ou instalados em pequenas calhas através do corte do pavimento, como se pode observar na Figura 2.5 (AASHTO, 2009).



**Figura 2.5 - Instalação dos cabos de fibra óptica na via de rodagem (Halvorsen & Motzko, 2000)**

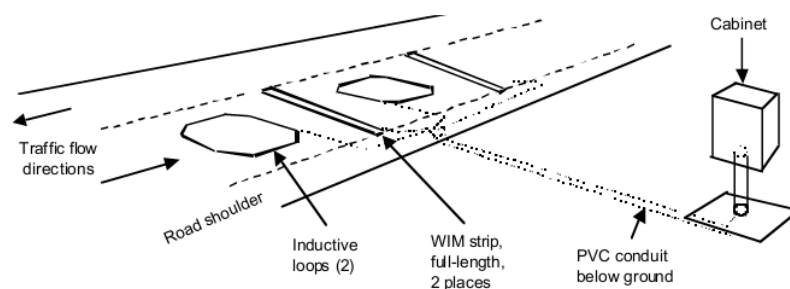
Segundo Halvorsen & Motzko (2000) as principais vantagens da utilização dos cabos de fibra óptica para a contagem de veículos são a precisão na detecção, a operacionalidade em amplas gamas de temperaturas, a alta sensibilidade, a imunidade ao ruído, a excelente resistência mecânica e química e a tolerância à variabilidade da profundidade de instalação.

### **2.1.5 Sistemas WIM – Weight in motion**

A tecnologia “*Weight in motion- WIM*”<sup>4</sup> consiste na utilização de dispositivos que permitem detectar e registar o peso por eixo e peso bruto dos veículos a partir de um local de medição, quer estes se encontrem parados ou em movimento. Para tal são utilizados um dos três tipos de sistemas piezoelétricos descritos em 2.1.5.1 (cerâmicos, polímeros e quartzo). A configuração genérica em planta para o sistema é apresentada na Figura 2.6 e consiste essencialmente em dois sensores piezoelétricos que podem ser dos três tipos apresentados, dois sensores tipo laço indutivo e uma caixa para recolha e registo da informação (Jiang, et al., 2009).

---

<sup>4</sup> Na engenharia de transportes, o sistema WIM aplica-se maioritariamente em monitorização de tráfego, fiscalização de peso de veículos, projecto de pavimentos, gestão de pavimentos e segurança de tráfego.

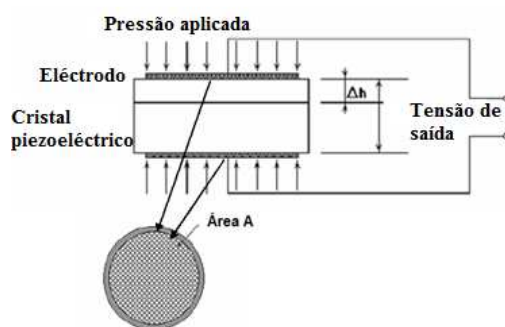


**Figura 2.6 - Configuração típica da instalação do sistema WIM (Mimbela & Klein, 2000)**

Na configuração acima apresentada o primeiro laço indutivo tem por objectivo a detecção do veículo e comunicação ao sistema da sua presença; o último sensor tem a função de medir a velocidade e a distância entre eixos através do tempo percorrido entre os dois laços indutivos. A instalação de dois sensores piezoelétricos permite fornecer melhores estimativas do peso por eixo estático porque cada um deles fornece um valor independente, podendo ser detectada qualquer discrepância devido a um movimento vertical do veículo (Szary & Maher, 2009).

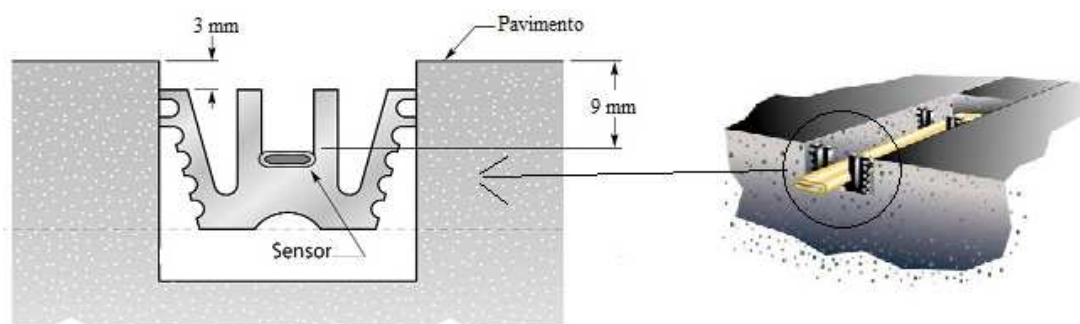
### 2.1.5.1 Sensores piezoelétricos

O princípio físico deste sistema baseia-se na conversão de energia cinética em energia eléctrica e alguns materiais possuem essa propriedade, designando-se por materiais piezoelétricos, como é o caso de alguns tipos de polímeros (Figura 2.7). O material piezoelétrico consiste num cristal que produz uma tensão diferencial quando lhe é aplicada uma pressão nas suas faces. O sinal eléctrico produzido por estes sensores depende da força aplicada, tratando-se neste caso do peso dos veículos. Os materiais com características piezoelétricas podem ser de quartzo, sal de *Rochelle*, titânio de bário, turmalina, entre outros. Com este sistema é possível classificar veículos por número de eixos e distância entre eles, bem como a velocidade (com múltiplos sensores) e o peso dos veículos que passam sobre os sensores piezoelétricos. (AASHTO, 2009; César Cassiolato & SMAR, 2010).



**Figura 2.7 - Esquema de funcionamento de um sensor piezoelétrico (adaptado de César Cassiolato; SMAR, 2010)**

No mercado existem três tipos de sensores de tráfego piezoelétricos: piezocerâmicos, piezopolímeros ou piezoquartzo. Os sensores piezocerâmicos foram os primeiros a surgir no mercado e podem ser colocados sob a faixa de rodagem mas é mais frequente a sua instalação num corte efectuado no pavimento com recobrimento por uma resina epoxídica. Tratam-se de sensores rápidos e devem ser colocados perpendicularmente ao fluxo de tráfego num pavimento que se encontre em boas condições, caso contrário, as forças que surgem no pavimento podem reportar falsos sinais (devido ao facto dos sensores serem omnidireccionais). O segundo tipo de sensores baseados em polímeros piezoelétricos (piezopolímeros), à semelhança dos anteriores também são comumente utilizados como sensores axiais. Estes sensores apenas recebem cargas numa única direcção (plano vertical) e são constituídos por uma longa faixa de alumínio colocada perpendicularmente ao fluxo de tráfego (*brass linguini* ou BL sensor). Os sensores podem ser colocados sobre o pavimento devidamente protegidos com uma manga protectora ou dentro de um corte efectuado no pavimento como se pode observar no esquema da Figura 2.8 (AASHTO, 2009; César Cassiolato & SMAR, 2010).



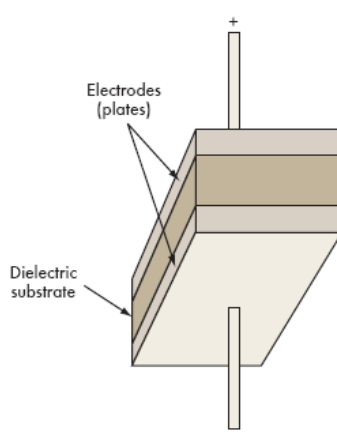
**Figura 2.8 - Esquema de instalação dos piezopolímeros na via de rodagem (adaptado de Measurement Specialties, 2011)**

O terceiro tipo de sensores piezoelétricos baseia-se na utilização de quartzo e surgiu face às limitações apresentadas pelos dois tipos de sensores anteriores. A principal diferença consiste na insensibilidade à acção da temperatura o que permite uma melhor estimativa da medição do peso por eixo dos veículos.

Em geral, os sensores piezoelétricos conseguem diferenciar eixos individuais com extrema precisão e apesar de serem mais dispendiosos face aos DLI, disponibilizam mais informação, como por exemplo, classificar os veículos com base no peso. As principais desvantagens destes sensores, à semelhança dos apresentados nos pontos anteriores residem no facto de ser necessário interromper a circulação rodoviária para a sua instalação e estarem sempre sujeitos às condições do pavimento. Caso uma faixa de rodagem seja repavimentada, pode obrigar à sua reinstalação (AASHTO, 2009; DNIT & UFSC, 2007).

### 2.1.5.2 Sensores de capacitância

Estes sensores consistem em dois ou mais condutores eléctricos (por exemplo: placas metálicas) separados por um material dieléctrico<sup>5</sup> e carregam cargas opostas de igual intensidade. O princípio de funcionamento deste sistema consiste na aplicação de corrente eléctrica alternada (AC) que atravessa a sequência de camadas (Figura 2.9). A passagem de um eixo do veículo (ou roda) provoca o decréscimo da distância entre as duas placas condutoras que por sua vez gera o aumento da capacitância do sistema eléctrico. Para além da configuração descrita, este sistema pode ser fabricado com placas de alumínio, utilizando ar como material dieléctrico (AASHTO, 2009; Mimbela & Klein, 2000).



**Figura 2.9 - Ilustração da composição dos sensores de capacitância (Electronic Design, 2008)**

A principal vantagem deste sistema é a de conseguir monitorizar até quatro vias de rodagem em simultâneo, podendo também ser utilizados para aplicações permanentes ou temporárias do sistema WIM. No entanto, os sistemas de capacitância não são tão precisos na estimação de pesos por eixo se comparados com células de carga ou placas de dobragem (ver subcapítulo 2.1.5.3).

Segundo AASHTO (2009) tratam-se de sensores menos económicos quando comparados com os sensores de eixo simples, logo os sensores de capacitância são mais utilizados para medições de peso por eixo portáteis e são colocados no pavimento como uma esteira (Figura 2.10).

---

<sup>5</sup> Material isolador da electricidade



**Figura 2.10 - Instalação de sensores de capacitância na via de rodagem (Mimbela & Klein, 2000)**

### **2.1.5.3 Placas de dobragem**

As placas de dobragem (*bending plates*), à semelhança dos sensores piezoelétricos (apresentados no ponto 2.1.4) são os sistemas WIM mais utilizados nos Estados Unidos e fornecem a informação do número de veículos que atravessam uma determinada via de rodagem. As placas de dobragem são compostas por uma armação metálica que contém placas de aço ligadas por extensómetros (Figura 2.11). O modo deste sistema proceder à contagem de veículos consiste na medição da deformação provocada pela passagem de eixos associada à flexão das placas: quanto maior for a deformação registada maior será o peso do eixo do veículo. Com base nesta relação é possível estimar a força aplicada e o carregamento associado (AASHTO, 2009; Mimbela & Klein, 2000).

Esta tecnologia é pouco sensível às condições climáticas e a sua maior largura permite um contacto físico mais prolongado da roda com o sensor. A principal desvantagem destes sensores comparativamente à utilização de sensores piezoelétricos ou cabos de fibra óptica é o facto de os cortes no pavimento serem mais morosos o que torna o custo de instalação superior (AASHTO, 2009; Mimbela & Klein, 2000).



**Figura 2.11 - Montagem de placas de dobragem numa via de rodagem (Crabtree, 1995)**



#### **2.1.5.4 Células de carga hidráulica**

Trata-se de um sistema constituído por uma placa superior rígida inserida numa estrutura escavada no pavimento. De acordo com Hallenbeck & Weinblatt (2004) o funcionamento físico deste sensor consiste na transferência do peso dos pneus para uma plataforma de pesagem que contém um ou mais cilindros hidráulicos (dispõem de óleo no seu interior) e o resultado obtido baseia-se na medição da alteração da pressão hidráulica.

As células de carga (Figura 2.12) mais usuais são compostas por duas plataformas em escala que operam de forma independente uma da outra e fornecem estimativas para o pneu esquerdo e direito de cada eixo, permitindo ao sistema registar o peso medido por cada escala e a sua soma corresponde ao peso por eixo. Dado que se trata de uma tecnologia WIM, podem ser instalados laços indutivos antes das células de carga hidráulica, para avisar o sistema da passagem de um veículo e depois das células, para o cálculo da velocidade do veículo (através do espaçamento registado entre os eixos). Aquando da instalação destas células o pavimento é reparado e regularizado por forma a diminuir os impactos dinâmicos causados pela passagem de veículos pesados.



**Figura 2.12 - Montagem de células de carga hidráulica numa via de rodagem (FHWA, 2011)**

## **2.2 Métodos não - intrusivos**

De acordo com AASHTO (2009) a utilização dos métodos intrusivos para a recolha de contagens de pequena duração não é viável se o volume de tráfego for muito elevado, se as equipas não dispuserem de segurança para a instalação dos sensores ou simplesmente porque a entidade responsável pela gestão das vias não procede ao corte das mesmas. Por forma a responder a estes constrangimentos, a evolução da tecnologia permitiu o desenvolvimento de sistemas que não necessitam de interromper o tráfego ou comprometer a segurança dos instaladores de sensores, uma



vez que com a utilização de métodos não-intrusivos pode-se monitorizar as vias de tráfego por cima ou ao lado destas.

À semelhança do subcapítulo 2.1 procede-se de seguida à apresentação da constituição, princípio de funcionamento, vantagens e desvantagens dos principais métodos não-intrusivos existentes: detecção de imagens vídeo, radar microondas, infravermelhos, detectores laser, ultra-sons, sistemas de identificação automática de veículos, entre outros.

### 2.2.1 Sistemas de detecção de imagens vídeo

A utilização deste sistema começou por ser uma tarefa manual, uma vez que a transmissão de imagens num circuito fechado de televisão permitia a um operador efectuar a gestão de tráfego mas devido à evolução da tecnologia é possível efectuar a recolha de dados automaticamente (Mimbela & Klein, 2000). A tecnologia de processamento de imagens vídeo (*vídeo image processor*) é constituída por câmaras de vídeo, um computador para o processamento dos dados e um programa (software) específico para a interpretação dos dados e conversão das imagens em dados de tráfego com base na identificação de grupos de pontos (pixels). Segundo a bibliografia (Klein, Mills, & Gibson, 2006; Mimbela & Klein, 2000) podem-se definir três classes para este sistema: *tripline*, *closed-loop tracking* e *data association tracking*, os quais são apresentados sucintamente de seguida.

- **Tripline**

Este sistema consiste numa forma simplificada num laço indutivo virtual, ou seja, são definidas zonas de detecção na imagem recebida pela câmara e aquando da passagem de um veículo, o sistema calcula o tempo que essa zona está ocupada e as alterações produzidas nos *pixels* quando comparados com a informação recebida sem a presença de um veículo. Se o objectivo é recolher também a velocidade e o comprimento dos veículos então podem ser definidas duas zonas de detecção, uma vez que a distância e o tempo percorrido entre cada zona permite a obtenção dessa informação (Klein, Mills, & Gibson, 2006). Com o sistema *tripline* (Figura 2.13) podem-se monitorizar várias faixas em simultâneo através da utilização de uma só câmara de vídeo (AASHTO, 2009).



**Figura 2.13 - Exemplo de câmara de vídeo (esquerda) e equipamento para processamento de imagem (direita) (Klein, Mills, & Gibson, 2006)**

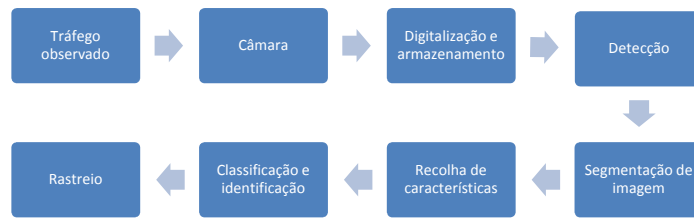
- **Sistemas de monitorização de vídeo (*closed-loop tracking*)**

Neste sistema a distância de monitorização é delimitada tendo em conta o campo de visão da câmara, altura de montagem e a resolução da câmara. Esta tecnologia utiliza um algoritmo que permite identificar e classificar veículos através da análise de uma sequência de imagens contínuas (*frame to frame*). Com este método também é possível determinar a velocidade dos veículos e as suas mudanças de via, se estiverem definidas as marcas das vias de rodagem, o comprimento da zona coberta pela câmara de vídeo e a distância entre pontos específicos na imagem (Klein, Mills, & Gibson, 2006).

- ***Data association tracking***

Esta última técnica pode também ser encontrada na bibliografia como “*feature extraction*” dado que examina em detalhe um grupo de *pixels* numa imagem associada a um veículo. Enquanto o sistema *tripline* classifica os veículos com base no seu comprimento, a tecnologia *data association tracking* classifica os veículos consoante certas características específicas: peso, comprimento, altura e cor (AASHTO, 2009).

Este sistema funciona através do processamento do sinal cuja sequência de processos define um algoritmo (Figura 2.14). O primeiro passo refere-se ao processo de detecção que limita e segrega os dados relevantes para passarem ao processo seguinte. Nesta fase não é conveniente a exclusão de potenciais veículos para análise, uma vez que os dados removidos não poderão ser recuperados, portanto mesmo que sejam absorvidos veículos que não são alvo de análise, isso não constitui um problema, dado que o processo de detecção ainda não terminou e essa tarefa está incumbida aos algoritmos de classificação e rastreio de veículos. Características como velocidade e classificação de veículos são obtidas através da segmentação da imagem obtida em pequenas áreas de detecção (Mimbela & Klein, 2000).



**Figura 2.14- Esquema do processamento de sinal dos sistemas de detecção vídeo (adaptado de Mimbela & Klein, 2000)**

Duma forma genérica, as principais desvantagens da utilização dos sistemas de processamento de imagem derivam do facto de as câmaras de vídeo estarem sujeitas a diversos condicionalismos, tais como: qualidade do equipamento, luminosidade existente no local de captação, posição da câmara, condições climatéricas e vibração da câmara. No entanto, os avanços da tecnologia apontam no sentido de reduzir o impacto destes condicionalismos. A qualidade da câmara e a limpeza das lentes podem tornar-se numa questão importante dado que, uma maior quantidade de *pixels* permite obter melhores resultados na análise das imagens e uma lente suja pode denegrir a qualidade dos resultados. Aquando da instalação da câmara de vídeo em sistemas de detecção de vídeo é possível calcular a distância máxima que a câmara consegue distinguir dois veículos próximos entre si ( $d$ ) – ver equação 2.1. Para além desta consideração, deve ter-se em atenção factores que podem limitar a distância  $d$ , como a configuração da via, o nível de congestionamento, as condições climatéricas adversas e a qualidade da câmara (Klein, Mills, & Gibson, 2006).

$$d = h \frac{Veh_{gap}}{Veh_{height}} \text{ (m)} \quad \text{(Eq. 2.1)}$$

Em que  $h$  - altura de montagem da câmara,  $Veh_{gap}$  – espaçamento entre veículos e  $Veh_{height}$  – altura do veículo.

Caso a montagem da câmara (veja a Figura 2.15) ocorra numa zona lateral à faixa de rodagem, numa altura da ordem dos 9 metros em vez dos 15 metros recomendados, a precisão na detecção pode ser degradada na ordem dos 85 % (Mimbela & Klein, 2000).

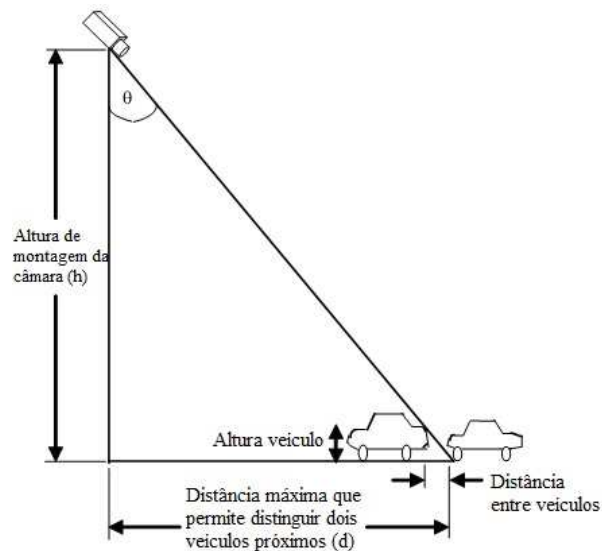


Figura 2.15 - Distinção entre dois veículos próximos entre si (adaptado de Klein, Mills, & Gibson, 2006)

### 2.2.2 Radares<sup>6</sup> microondas

No domínio dos sensores baseados em radares microondas, segundo Klein, Mills, & Gibson (2006) são utilizados dois tipos de equipamentos em aplicações de transportes: um transmite ondas contínuas (CW) – *Doppler waveforms*; e o outro envia ondas contínuas em frequência modelada (FHCW). Ambos os sistemas transmitem radiação microondas com baixa energia para uma determinada zona no pavimento e analisam o sinal reflectido como se apresenta esquematicamente na Figura 2.16.

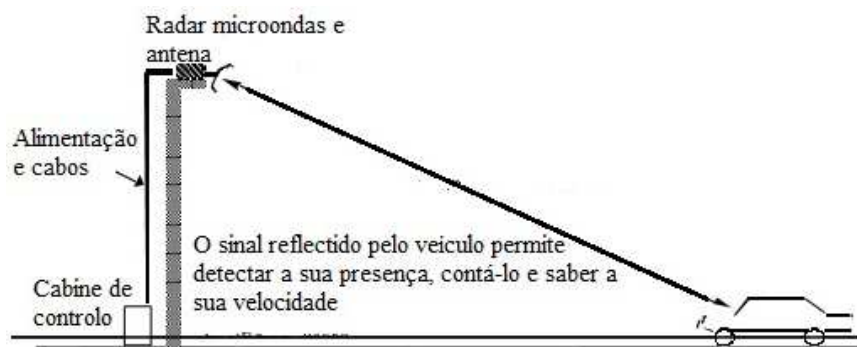


Figura 2.16 - Princípio de funcionamento de um radar microondas (adaptado de Mimbela & Klein, 2000)

<sup>6</sup> A palavra “radar” é um acrónimo do inglês *radio detection and ranging*, ou seja, detecção e localização por ondas de rádio

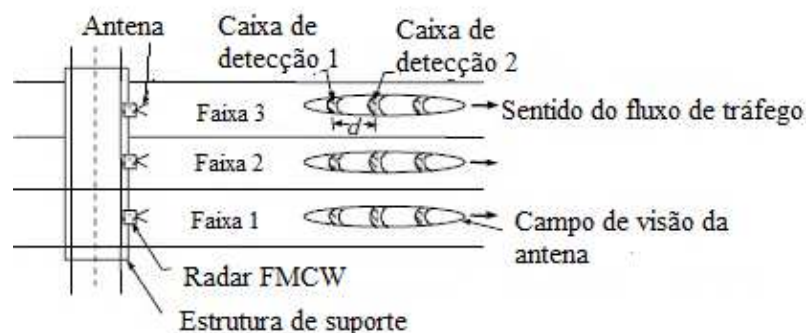
- **Radar de onda contínua (*Doppler*)**

Com este sistema é transmitida uma onda de rádio contínua ao longo do tempo e são medidas as alterações provocadas na frequência do sinal, conhecido também como efeito *Doppler*. Este efeito consiste na emissão de uma onda electromagnética que atinge um objecto, sendo depois reflectida e capturada pelo receptor do radar. De acordo com este princípio, um veículo é detectado se forem registadas alterações na frequência do sinal recebido, dado que esta aumenta se um veículo se aproximar do radar (Klein, Mills, & Gibson, 2006). Os sensores que não incorporarem uma cobertura de medição auxiliar não conseguirão detectar veículos parados (Mimbela & Klein, 2000).

- **Radar em frequência modelada (*FMCW Radar*)**

Trata-se igualmente de um radar que emite uma onda electromagnética continua mas neste sistema a sua frequência vai sendo alterada ao longo do tempo. É transmitido um impulso de energia e o tempo de atraso até o sinal chegar novamente ao receptor permite determinar a distância ao veículo. Com este sistema é ainda possível detectar a presença de veículos parados.

Quando existe um elevado fluxo de tráfego é necessário que o radar detecte correctamente a presença dos veículos, uma vez que circulam muito próximos entre si. Na Figura 2.17 apresenta-se em planta uma instalação deste tipo de sensores, onde são identificadas as zonas de detecção de veículos. Um campo de detecção (*range bin*) permite que um sinal reflectido seja particionado e identificado a partir de pequenas áreas demarcadas na faixa de rodagem.

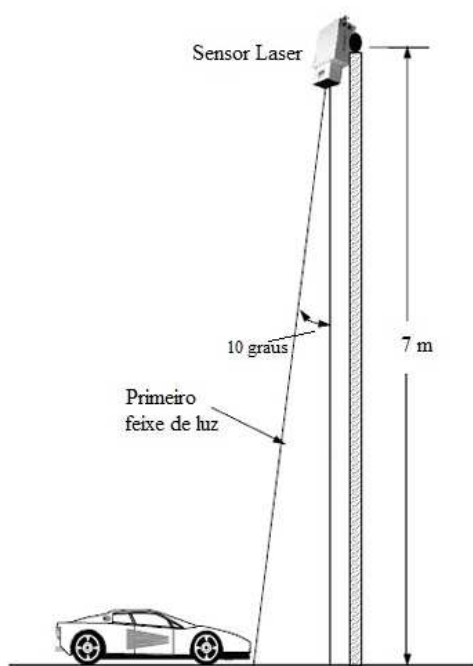


**Figura 2.17 - Marcação das zonas de detecção dos sensores (adaptado de Klein, Mills, & Gibson, 2006)**

De uma forma geral, e segundo AASHTO (2009), estes sistemas de radar conseguem detectar a presença e a velocidade dos veículos mas não são capazes de classificá-los. Em termos de instalação, os radares podem ser montados por cima das vias de tráfego ou ao lado destas. Quando colocados superiormente cada sensor apenas detecta uma via mas possibilita o aumento da precisão da medição, uma vez que não se corre o risco de oclusão de veículos. Por outro lado, se o sensor for instalado na berma da faixa de rodagem consegue detectar veículos em todas as vias mas corre-se o risco da perda de precisão de dados.

### 2.2.3 Sistemas de detecção laser

Os sistemas de detecção com base na tecnologia laser operam no espectro electromagnético numa zona próxima à dos infravermelhos e consistem na transmissão óptica de dois feixes de díodo pulsado laser, em que um primeiro feixe apresenta uma inclinação de  $10^\circ$  face à vertical onde se encontra o emissor e um segundo feixe de luz segue com uma inclinação de  $0^\circ$ , como se apresenta esquematizado na Figura 2.18. Note-se que o sensor laser possui uma ligeira inclinação em relação à vertical e na bibliografia consultada é de  $5^\circ$ , sendo que outros valores podem ser adoptados para esta inclinação (Klein, Mills, & Gibson, 2006). Este sensor laser pode-se instalar entre 6,1 e 7,6 metros por cima da faixa de rodagem.



**Figura 2.18 - Esquema de montagem dos sensores laser (adaptado de Klein, Mills, & Gibson, 2006)**

A óptica responsável pela recepção tem um amplo campo de visão para poder receber a energia reflectida pelos veículos. Aquando da passagem de um veículo, o feixe de luz é interrompido e desta forma consegue-se detectar a presença de um veículo num dado local. Se estes sensores forem instalados na berma de uma via podem identificar e classificar veículos com base no seu perfil.

Para recolha de dados portáteis existem no mercado radares laser que possuem uma dimensão prática para serem manuseados por qualquer pessoa. Estes equipamentos são comumente utilizados, por exemplo pelas autoridades policiais nos Estados Unidos para o controlo expedito da velocidade dos veículos.

## 2.2.4 Sistemas de infravermelhos

Os sistemas baseados em infravermelhos podem ser divididos em duas classes: passivos e activos. A diferença entre estes reside no facto de os sistemas passivos detectarem as alterações de energia provocadas nos comprimentos de onda emitidos pelos objectos na faixa de rodagem, enquanto os sistemas activos funcionam através da emissão de um feixe de radiação infravermelha de baixa energia, com a medição do tempo de retorno desse mesmo feixe. Apresenta-se de seguida em detalhe cada um destes tipos de sensores.

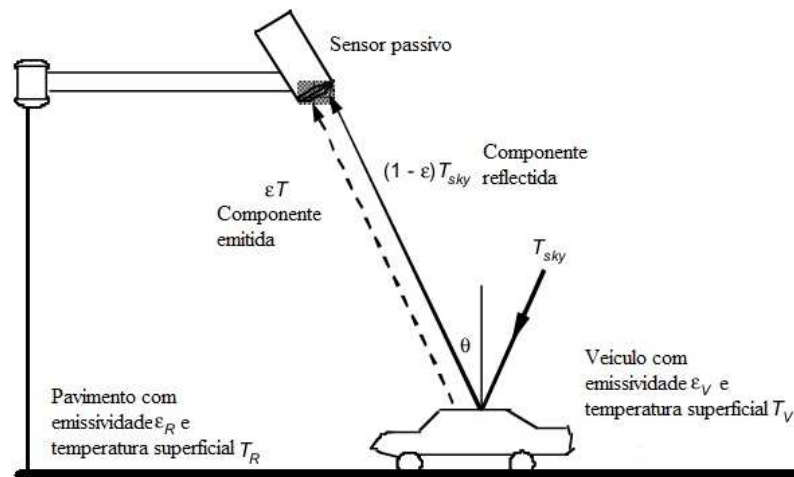
### 2.2.4.1 Sensores de infravermelhos passivos

O termo passivo neste tipo de tecnologia deriva do facto destes sensores não transmitirem energia própria, apenas detectam energia emitida pelos objectos ou superfícies. Mais especificamente podem-se distinguir duas fontes de energia: uma primeira que consiste em energia emitida pelos veículos, superfícies dos pavimentos e outros objectos no campo de visão do sensor, enquanto uma segunda fonte tem por base a energia emitida pelos componentes da atmosfera e reflectida pelos veículos, superfícies dos pavimentos e outros objectos no campo de visão do detector (Klein, Mills, & Gibson, 2006). As câmaras de infravermelhos (Figura 2.19) detectam variações de energia que podem ser exibidas como imagens e desta forma consegue-se converter a informação recebida em volume e velocidade de veículos. À semelhança de outros sistemas, podem ser colocados sobre as vias de tráfego ou ao lado destas (AASHTO, 2009).



**Figura 2.19 - Exemplos de sensores passivos de infravermelhos (Klein, Mills, & Gibson, 2006)**

Com este sistema, os veículos são contabilizados a partir das alterações de energia emitida por estes (Figura 2.20) e recebida pelo campo de visão do sensor (Mimbela & Klein, 2000).



**Figura 2.20 - Esquema de detecção de energia a partir de um sensor infravermelho (adaptado de Mimbela & Klein, 2000)**

Os sensores passivos de uma zona de detecção simples permitem determinar o volume e a via ocupada, enquanto aqueles que possuem múltiplas zonas de detecção conseguem medir também a velocidade dos veículos. Tal procedimento é possível a partir dos atrasos nos tempos dos sinais recebidos a partir de três zonas dinâmicas e o comprimento dos veículos pode ser obtido sabendo a extensão em que os objectos são detectados em pontos conhecidos (Klein, Mills, & Gibson, 2006).

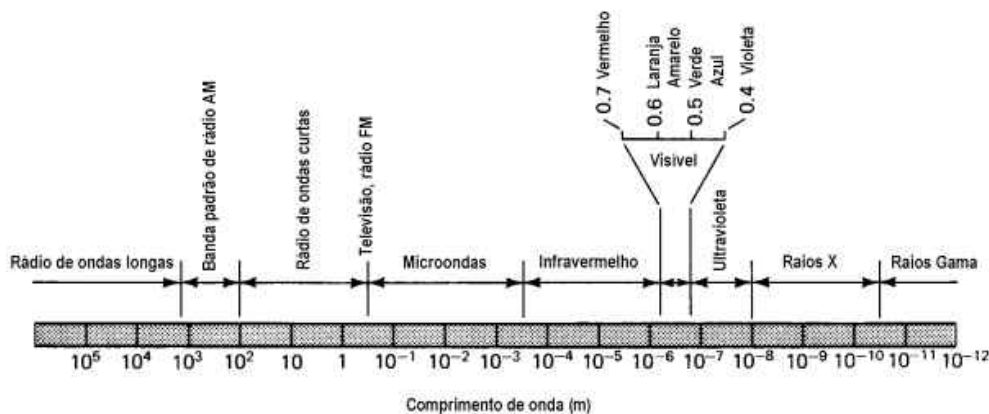
- **Princípio da radiação infravermelha**

Todos os corpos existentes na nossa envolvente são compostos por átomos que por sua vez possuem cargas negativas e positivas e acima da temperatura de zero absoluto ( $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) qualquer corpo pode ser considerado uma fonte de energia electromagnética, dado que as partículas entram em movimento e geram por sua vez radiação que pode ser caracterizada pela sua intensidade ou comprimento de onda. A energia electromagnética pode ser ordenada em função do seu comprimento de onda<sup>7</sup> ou da sua frequência<sup>8</sup> designando-se por espectro electromagnético (ver Figura 2.21).

<sup>7</sup> O comprimento de onda é a distância entre duas cristas sucessivas de uma onda (Grimm, 1999)

<sup>8</sup> A frequência de uma onda é o número de ciclos completos (ondas completas) que passa por um dado ponto por unidade de tempo (Grimm, 1999)





**Figura 2.21 - Espectro electromagnético (Grimm, 1999)**

A energia que incide sobre um corpo pode ser absorvida, reflectida ou transmitida e para um corpo se manter à temperatura constante, a quantidade de energia absorvida tem de ser igual à taxa de energia emitida. O conceito de emissividade é definido como a relação entre a radiação emitida por um corpo e a radiação emitida por um corpo negro, nas mesmas condições. O corpo negro é uma abstracção teórica que consiste num irradiador perfeito, dado que toda a energia que nele incide é irradiada. Na física o corpo negro possui uma emissividade  $\varepsilon = 1$  e todos os corpos que possuem um valor diferente da unidade designam-se por corpos cinzentos, em que a emissividade varia com o comprimento de onda.

#### **2.2.4.2 Sensores de infravermelhos activos**

Este sistema consiste na emissão de um feixe de luz pelo sensor e quando um veículo passa sobre o seu campo de visão o feixe é interrompido. Consoante a altura e a direcção em que o sensor é colocado assim este conta o número de veículos ou o número de eixos. Se os sensores forem instalados em sequência, consegue-se obter a velocidade de um veículo e com base no número e no espaçamento entre eixos pode-se classificar o veículo (AASHTO, 2009).

As principais vantagens residem no facto de não ser necessário efectuar nenhum procedimento invasivo no pavimento e no aumento da precisão através da sua capacidade de enviar vários feixes de luz, o que aumenta a precisão na medição das características dos veículos.

Em aplicações de gestão de tráfego de curta duração, os efeitos do nevoeiro, chuva e neve não são significantes, no entanto, segundo Mimbela & Klein (2000), podem ocorrer perturbações no desempenho do sistema, como seja o brilho da luz solar que pode confundir o sistema e causar sinais indesejados. Como regra expedita para verificar se o sensor está a recolher correctamente a informação, os mesmos autores referem que se o olho humano consegue detectar um veículo, o sensor de infravermelhos com uma grande probabilidade também o vai registar.

### 2.2.5 Sistemas acústicos passivos

O tráfego de veículos numa determinada via e o contacto dos pneus com o pavimento provocam sons audíveis, permitindo ao sistemas acústicos passivos detectarem a presença, passagem de veículos e a sua velocidade através da energia acústica por estes produzida. À passagem de um veículo numa zona de detecção o acréscimo da energia sonora é reconhecido por um algoritmo que transforma essa informação em dados sobre o veículo. Segundo AASHTO (2009) quando um veículo circula a uma velocidade elevada, o único meio de detecção da sua presença é através do ruído emitido pelos pneus, enquanto a velocidades mais baixas o principal meio de detecção é o som do motor. Assim que o veículo deixar de ocupar a zona de detecção, a consequente energia sonora decresce e o sinal que indica a presença de um veículo termina (Klein, Mills, & Gibson, 2006).

Na Figura 2.22 apresenta-se um tipo comercial de sistema passivo acústico que permite detectar até cinco vias em simultâneo, recorrendo a uma instalação não intrusiva na via, ou seja, na berma da faixa de rodagem mais à direita da via. Este sistema, segundo Mimbela & Klein (2000) permite medir até sete vias em simultâneo se for instalado por cima destas. O equipamento permite a detecção de veículos pesados e ligeiros (fornecendo a informação sobre o seu volume, velocidade<sup>9</sup>, via ocupada e caracterização), quer os veículos se encontrem em “para-arranca” ou a circular a velocidades baixas (menos de 32 km/h) (Klein, Mills, & Gibson, 2006).



**Figura 2.22 – Detecção de múltiplas vias com sensor acústico passivo tipo SAS-1 da Smartek Systems Inc (adaptado de SmarTek Systems Inc., 2008)**

Como referido anteriormente, este sistema não necessita de uma interrupção do trânsito para a sua montagem e essa pode ser a sua principal vantagem, para além de não sofrer interferências com a precipitação. Por outro lado a bibliografia indica a falta de precisão destes sensores com a existência de baixas temperaturas (Mimbela & Klein, 2000).

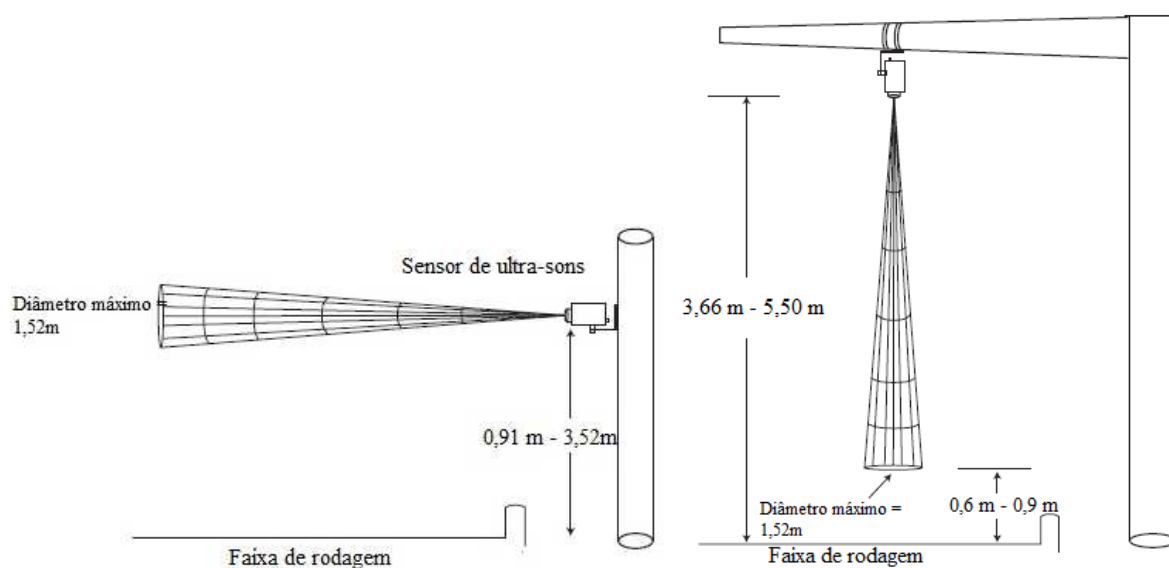
---

<sup>9</sup> Note-se que com este sistema, a velocidade é obtida através de um algoritmo com base no comprimento médio de cada veículo (Mimbela & Klein, 2000).

## 2.2.6 Sistemas de ultra-sons

Os sistemas de ultra-sons baseiam-se no princípio da emissão de ondas de pressão de energia sonora e na medição da quantidade reflectida dessa mesma energia. À semelhança dos radares microondas abordados no subcapítulo 2.2.2, estes sistemas podem ser agrupados em *Ultrasonic pulse detectors* e *Ultrasonic Doppler*. O primeiro tipo de sistema consiste na emissão de dois impulsos de energia a partir de ângulos de incidência conhecidos e dado que se sabe a distância entre os dois feixes apenas é necessário obter o tempo que um veículo demora a percorrer essa distância para a obtenção da sua velocidade. O segundo tipo utiliza o princípio de *doppler* com a emissão de um sinal de ultra-son contínuo e averigua a mudança na frequência do sinal que é recebido pela reflexão nos veículos. O sensor de frequência contínua possui dois transdutores, um deles emite o sinal enquanto o segundo equipamento recebe o sinal (AASHTO, 2009; Mimbela & Klein, 2000).

A instalação dos *Ultrasonic pulse detectors*, é usualmente feita na horizontal ou na vertical como esquematizado na Figura 2.23, enquanto os sistemas *doppler* são montados por cima da via de rodagem com um ângulo de 45 graus face ao plano horizontal.



**Figura 2.23- Montagens tipo de sensores de ultra-sons: instalação na horizontal (à esquerda) e instalação num plano vertical (à direita) (adaptado de MS Sedco, 2010)**

As principais vantagens na utilização dos sensores ultra-sons, apontam para o facto de não ser necessário efectuar o corte da via para a sua instalação e alguns modelos operam em múltiplas vias. A instalação pode ser efectuada em pontes ou viadutos que atravessem as vias de tráfego. Como desvantagens tem-se a acção da temperatura e a turbulência provocada pelo ar que podem afectar o desempenho dos sensores.

## 2.2.7 Outros sistemas de detecção de veículos

Neste ponto apresentam-se dois sistemas diferentes para identificação de veículos em vias de tráfego. O primeiro destes tem por base a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) para detecção de veículos e o segundo sistema baseia-se na utilização de redes de sensores sem fios.

### 2.2.7.1 Dispositivos de identificação de veículos

Este tipo de equipamentos apesar de poder recolher dados sobre os veículos não deve ser considerado como um método de contagem de veículos, dado que é necessário instalar um dispositivo de emissão nos objectos alvo de análise e enviar os dados de cada um para um sistema central que deve possuir uma base de dados para agregar as informações de todos os veículos possuidores deste dispositivo. Estes sistemas AVI – *Automatic Vehicle Identification* utilizam a tecnologia de identificação por rádio frequência sob o acrónimo RFID e são compostos por uma antena, um transceptor<sup>10</sup> com descodificador e um *transponder*<sup>11</sup> programado electronicamente com uma informação única. Analisando o funcionamento do sistema RFID, a antena emite um sinal que activa o sistema emissor (RFID *tag*), o leitor instalado na faixa de rodagem emite ondas de rádio e quando um dispositivo presente no veículo atravessa a zona electromagnética recebe as ondas de rádio de volta e os dados presentes no *chip* do identificador são descodificados pelo leitor e enviados para um computador central.

Trata-se de uma tecnologia que se encontra presente em variadas aplicações, como em passes de transportes públicos, sistemas de segurança de objectos, sistemas de pagamento, entre outras. Em Portugal esta tecnologia é utilizada nos transportes sob a designação comercial *Via Verde* e segundo a empresa distribuidora do produto trata-se de um *equipamento electrónico instalado na viatura, que permite a identificação do local e tempo de uso de determinada infra-estrutura através do estabelecimento de uma ligação com a antena instalada na via (sejam barreiras de portagem, parques de estacionamento, postos de combustível GALP e zonas urbanas limitadas)* Via Verde (2012). A partir da utilização deste equipamento representado a título de exemplo na Figura 2.24 podem-se medir volumes de tráfego numa determinada via, bem como estimar a velocidade média dos veículos, a partir do tempo de viagem percorrido entre dois detectores.

---

<sup>10</sup> Dispositivo que aglomera as capacidades de transmissor e de receptor num só aparelho, a partir da utilização de componentes do circuito comum.

<sup>11</sup> Trata-se de um dispositivo que recebe, amplifica e retransmite um sinal numa frequência diferente



**Figura 2.24 - Dispositivo electrónico comercializado pela Via Verde com tecnologia RFID**

#### **2.2.7.2 Redes de sensores sem fios**

No seguimento de um trabalho académico desenvolvido por Knaian (2000) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) foi aplicado um pacote de sensores sem fios e instrumentadas algumas vias para contagem de veículos, medição da velocidade média e detecção de água e gelo no pavimento. Tal como os detectores magnéticos apresentados em 2.1.3, o sistema desenvolvido utiliza o mesmo princípio, no entanto os sensores são mais pequenos, económicos e podem funcionar com uma pequena bateria de lítio durante pelo menos 10 anos. A passagem de um veículo é contabilizada pela perturbação causada por este no campo magnético terrestre e pode ser identificada até 15 metros do sensor.

Na Figura 2.25 apresenta-se a instalação de um sensor (*node*) na superfície do pavimento e no trabalho de Knaian, o dispositivo foi concebido para ser colocado numa superfície rígida e plana que posteriormente foi preenchida por rochas enraizadas de forma irregular. Cada *node* é composto por um detector do campo magnético, sensor de temperatura, transmissor rádio, micro controlador e bateria de lítio.



**Figura 2.25 - Instalação de um sensor sem fios (*node*) na superfície do pavimento (Knaian, 2000)**

À semelhança dos detectores intrusivos este sistema não é afectado pelas condições de luz, temperatura, nevoeiro, fumo ou chuva. Em termos construtivos, estes sensores podem ser desenvolvidos com uma dimensão reduzida, semelhante a uma moeda de “1 euro” (aproximadamente 2,3 cm).

### 2.2.8 Recolha de dados manual

As contagens manuais começaram por ser o primeiro método a ser introduzido em estudos de tráfego e consistem na mobilização de meios humanos para os locais alvos de estudo, por forma a recolher informações relativas ao volume de tráfego e certas características dos veículos. Tratam-se de métodos de curta duração e podem ser utilizados quando as outras técnicas não sejam de aplicação viável na via, tais como situações em que é necessário recolherem o número de ocupantes de um veículo, ou locais onde os equipamentos não consigam medir com precisão devido a variações de velocidade dos veículos, entre outros.

A realização de contagens manuais de tráfego é um método simples e expedito na determinação do volume de tráfego durante um determinado período de tempo e estas medições podem ser obtidas mobilizando uma equipa de observadores para a zona lateral das vias a observar. Por forma a obter resultados fiáveis, as equipas devem ter formação e treino específico na tarefa a desempenhar, bem como uma adequada supervisão (Andrade, 2000). Com base num estudo divulgado por AASHTO (2009) a qualidade dos dados recolhidos de forma manual tende a decair passadas três horas de trabalho do observador, podendo nesse período contar cerca de 800 veículos por hora. Os observadores bem treinados, em períodos de cerca de uma hora podem conseguir registar 2000 veículos por hora (Andrade, 2000).

- **Contagens manuais efectuadas pela EP - Estradas de Portugal, S.A.**

Com base em Estradas de Portugal, S.A.(2012) apresentam-se de uma forma sucinta os princípios adoptados em Portugal para estudos de tráfego, sob indicações da empresa gestora da rede viária nacional, EP – Estradas de Portugal, S.A. Os veículos devem ser contabilizados nos postos de contagem sem interrupções, por períodos de quinze minutos e agrupados de acordo com as respectivas categorias, como se pode observar no Quadro 2.1. Todos os intervenientes num processo de contagem devem ser portadores de relógio, lápis, borracha, afia lápis, colete reflector, lanterna e cronómetro.

**Quadro 2.1 - Classificação dos veículos proposta pela Estradas de Portugal, S.A.**

Sigla	Tipo de veículo	Descrição
MC	Motociclos	Inclui os motociclos, com ou sem <i>side-car</i> e os ciclomotores
AT	Automóveis	Inclui veículos ligeiros de passageiros com ou sem reboque, incluindo carrinhas de 9 lugares com o motorista
CL	Comerciais ligeiros	Inclui os veículos ligeiros de mercadorias (tipo furgão) e as camionetas, com ou sem reboque (peso bruto não pode exceder 3500 kg)
CP	Comerciais pesados	Inclui os veículos de mercadorias cujo peso bruto exceda os 3500 kg
AC	Autocarros	Inclui todos os veículos pesados de transporte de passageiros
ESP	Veículos especiais	Inclui todos os veículos especiais, inclusive tractores agrícolas.

A realização das *Contagens Classificadas de Tráfego*, para além das indicações acima mencionadas prevê um conjunto de regras que devem ser cumpridas. Note-se que cada folha de contagem (veja-se a Figura 2.26) é organizada por posto, período horário e número de folha. Para o preenchimento dos impressos disponibilizados pela *Estradas de Portugal, S.A* devem ser adoptados os seguintes procedimentos:

- 1) Preenchimento do cabeçalho de cada impresso antes do início de cada contagem
- 2) Registo dos parâmetros de localização do posto de contagem
- 3) Preenchimento dos campos referentes à data, número do impresso e nome do operador
- 4) Anotação o período horário que está a ser analisado (exemplo: 7h00, 8h15,...)
- 5) Registo do volume de tráfego, através da marcação com traços a lápis diagonais, no quadrado referente ao tipo de veículo contabilizado. Caso o volume de tráfego no posto em questão seja muito elevado, podem-se registar os volumes por agrupamentos de veículos (exemplo: 10 automóveis num quadrado em vez de ocupar 10 quadrados com 10 traços diagonais)
- 6) Numeração correcta da sequência da contagem (tipo: folha 1/n, folha 2/n, ...)

Ingresso 2

Área de  
Planeamento e  
Desenvolvimento

**CONTAGEM CLASSIFICADA DE TRáfEGO**

( A UTILIZAR EM SECÇÃO )

Ponto nº : \_\_\_\_\_ Corredor : \_\_\_\_\_ Km : \_\_\_\_\_ Outra Designação do Local : \_\_\_\_\_  
Latitude ( $^{\circ}$  -' -") ou (N/S) : \_\_\_\_\_ Longitude ( $^{\circ}$  -' -") ou (P/O) : \_\_\_\_\_  
Sentido : \_\_\_\_\_ Período Horário : \_\_\_\_\_ (Indicar o período de 1 hora)  
Operador : \_\_\_\_\_ Data (aaaa/mm/dd) : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Folha nº : \_\_\_\_ / \_\_\_\_

MC - Motociclos / Ciclomotores AT - Automóveis CL - Comerciais Ligeiros CP - Comerciais Pesados AC - Autocarros ESP - Veículos Especiais

**CATEGORIA DOS VEÍCULOS**

Período  
Elementar  
de 15m

MC

AT

CL

CP

AC

ESP

**Figura 2.26 - Impresso genérico para o registo da contagem classificada de tráfego (Estradas de Portugal, S.A., 2012)**

- ***Inquéritos origem-destino***

Um outro método manual para a obtenção de dados de tráfego complementares trata-se dos inquéritos origem - destino (O-D). Para a realização destes questionários, os condutores dos veículos são interpelados nas vias alvo de análise, tendo para tal que se cumprir as demais regras de segurança com a ajuda das forças policiais. Em Portugal encontra-se em vigor a “*Norma para a sinalização nos postos de inquérito Origem/Destino*” (Aprovada na reunião do CA do IEP nº206/48/2004, de 24 de Novembro, adaptada em Maio de 2005) que contém todas as indicações de segurança a cumprir pela entidade gestora da via e entidade promotora do inquérito.

Segundo informações recolhidas no Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P. podem-se distinguir dois tipos de inquéritos de tráfego: directo e indirecto. O método de inquérito directo consiste em parar os condutores e questioná-los no momento da abordagem, como se pode observar na Figura 2.27 através do modelo adoptado pela *Estradas de Portugal, S.A.* O método indirecto tem como princípio mandar parar os veículos, distribuir os inquéritos aos condutores e obter a resposta via *internet*, correio postal ou por contacto telefónico posterior. Devido à impossibilidade de abordar todos os condutores, os questionários são realizados para uma amostra representativa da população a estudar. Tal como acontece nas *Contagens Classificadas de Tráfego*, a localização dos postos de inquérito depende da área a abranger e das análises pretendidas e os períodos para a realização de inquéritos devem ser contínuos e nunca inferiores a duas horas (IMTT, 2011).

Após a recolha da informação podem ser efectuadas três tipos de análises: *linhas de desejo das deslocações*, *matriz de viagens origem - destino* (matriz O-D) e *repartição dos motivos de viagem*. De acordo com IMTT (2011), a primeira análise corresponde à matriz O-D onde são apresentadas as ligações preferidas pelos interrogados entre dois pontos da rede, bem como o número de utilizadores dessa ligação. Por último, a repartição dos motivos de viagem, como o próprio nome indica, consiste numa análise que é feita segundo o motivo pelo qual os condutores efectuam determinada viagem.




 <b>Área de Planeamento e Desenvolvimento</b>		<b>INQUÉRITO ORIGEM - DESTINO</b>				
Posto n.º : _____ Corredor : _____ Km : _____ Outra Designação do Local : _____ Latitude ((° - ' - ") ou (M)) : _____ Longitude ((° - ' - ") ou (P)) : _____ Sentido : _____ Período Horário : _____ (início do período de 1 hora) Folha n.º : _____ Entrevistador : _____ Data (aaaa/mm/dd) : _____ / ____ / ____						
Categoria de Veículo	Número de Pessoas no Veículo	Destino	Origem	Qual o Motivo Principal desta Viagem ?	Com que Frequência faz esta Viagem ?	Por que optou por esta estrada ?
		Diga-me, por favor, o local para onde se dirige ?	Diga-me, por favor, o local de onde vem ?			
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ?	1-Diariamente 2- 2:3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1-Troço mais Curto 2-Troço mais Rápido 3-Troço mais Seguro 4-Única Alternativa 5-Outra Razão.Qual?
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ?	1-Diariamente 2- 2:3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1-Troço mais Curto 2-Troço mais Rápido 3-Troço mais Seguro 4-Única Alternativa 5-Outra Razão.Qual?
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ?	1-Diariamente 2- 2:3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1-Troço mais Curto 2-Troço mais Rápido 3-Troço mais Seguro 4-Única Alternativa 5-Outra Razão.Qual?
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ?	1-Diariamente 2- 2:3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1-Troço mais Curto 2-Troço mais Rápido 3-Troço mais Seguro 4-Única Alternativa 5-Outra Razão.Qual?
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar <input type="text"/> (Cód. Freguesia) Se Lugar, Freguesia mais Próxima <input type="text"/> (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ?	1-Diariamente 2- 2:3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1-Troço mais Curto 2-Troço mais Rápido 3-Troço mais Seguro 4-Única Alternativa 5-Outra Razão.Qual?

Figura 2.27 - Inquérito origem-destino utilizado pela Estradas de Portugal, S.A.

### 2.3 Sistematização das técnicas disponíveis para contagem

No presente ponto, e depois de apresentadas as técnicas de contagens de veículos mais usuais, procede-se a uma sistematização das informações com a exposição das principais vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Note-se que a classificação de veículos através de métodos intrusivos (Quadro 2.2) baseia-se no número de eixos contabilizados pelos sensores, exceptuando os laços indutivos que têm em conta o comprimento total do veículo na sua detecção. Por outro lado, a totalidade dos métodos não intrusivos classificam os veículos com base no seu comprimento total.

**Quadro 2.2 - Síntese das tecnologias intrusivas para recolha de dados de tráfego, vantagens e desvantagens (adaptado de Hallenbeck & Weinblatt, 2004; Padmavathi & al, 2010)**

<b>Tecnologia</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Tubos pneumáticos	-Económicos -Fácil montagem	-Falta de precisão em tráfego elevado -Dificuldade de instalação em múltiplas faixas
Laços indutivos ( <i>inductive loops</i> )	-Disponibiliza os parâmetros básicos de tráfego (presença, volume, faixa ocupada e velocidade) -Insensível às acções climáticas (chuva, nevoeiro e neve) -Tecnologia com um vasto leque de aplicações e experiência	- Requer cortes no pavimento - Dificil instalação em caso de tráfego elevado -Má instalação provoca uma diminuição no tempo de vida do pavimento -Fiabilidade dos dados pode diminuir com a quantidade de classes abrangidas na medição -Sujeito a esforços e acção da temperatura
Detectores magnéticos	- Facilidade de instalação -Insensível às acções climáticas (chuva, nevoeiro e neve) -Menos susceptível aos esforços provocados pelo tráfego em relação aos laços indutivos	-Requer cortes no pavimento -Difícil instalação em caso de tráfego elevado -Má instalação provoca uma diminuição no tempo de vida do pavimento -Pode não detectar veículos parados se não forem usados sensores especiais e <i>software</i> específico -Pouca informação acerca da sua precisão
Sensores piezoeléctricos	-Conseguem diferenciar eixos individuais com extrema precisão -Conseguem classificar veículos com base no peso por eixo -Fiável	-Requer cortes no pavimento e em caso de repavimentação podem ter de ser reinstalados -Difícil instalação em caso de tráfego elevado -Requer elevada manutenção -Susceptibilidade a relâmpagos
Cabos de fibra óptica	-Capacidade de monitorizar múltiplas faixas -Precisão na detecção de veículos -Operar em amplas gamas de temperatura -Não são susceptíveis a relâmpagos	-Tecnologia recente com pouca informação sobre o seu desempenho
Sensores de capacitância	-Monitorizar até quatro faixas de rodagem -Não são tão precisos a estimar pesos por eixo em comparação com as placas de dobragem ou células de carga	-Dispendiosos
Placas de dobragem	-Frac susceptibilidade às acções climáticas -Contacto físico da roda com o sensor mais prolongado	-Dispendioso devido aos cortes no pavimento que são mais morosos
Células de carga hidráulica	-Pouco sensíveis à acção da temperatura -Não são afectadas pelos esforços feitos no pavimento	-Dispendioso porque necessita de um espaço no pavimento superior

**Quadro 2.3 - Síntese das tecnologias não-intrusivas para recolha de dados de tráfego, vantagens e desvantagens (adaptado de Hallenbeck & Weinblatt, 2004; Padmavathi & al, 2010)**

<b>Tecnologia</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Processamento de imagens vídeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Monitorização de múltiplas faixas</li> <li>-Elevada quantidade de dados disponíveis</li> <li>- Grande área de detecção quando existem várias câmaras ligadas entre si</li> <li>- Facilidade de instalação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manutenção periódica às lentes das câmaras</li> <li>-Desempenho afectado pelas condições climáticas: nevoeiro, chuva, neve; transição dia/noite, contraste veículo/pavimento</li> <li>-Susceptibilidade à acção do vento e/ou vibrações</li> <li>-Recolha de dados fiáveis em condições nocturnas requer iluminação pública</li> </ul>
Radares microondas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Precisão não é afectada pelas condições climáticas ou pelo pavimento</li> <li>-Um só dispositivo detecta múltiplas faixas de rodagem</li> <li>- Facilidade de instalação</li> <li>-Medição instantânea da velocidade dos veículos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sob boas condições é menos preciso em medições de múltiplas faixas, quando comparado com os sensores tradicionais</li> <li>- Sensores de onda contínua (<i>Doppler</i>) não detectam veículos parados</li> </ul>
Detecção laser	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Possibilidade de operação em múltiplas faixas</li> <li>-Medição precisa através do envio de vários feixes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção periódica às lentes do equipamento</li> <li>-Operação pode ser afectada pelo nevoeiro (a menos de 6m) ou neve</li> </ul>
Infravermelhos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Múltiplas zonas de detecção permitem conhecer a velocidade dos veículos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A sensibilidade à detecção de veículos é diminuída com a presença de nevoeiro denso, chuva e neve</li> </ul>
Acústicos passivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Insensível à presença de chuva</li> <li>-Alguns modelos disponibilizam detecção em múltiplas faixas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temperatura baixa pode afectar a precisão da contagem de veículos</li> <li>-Alguns modelos com esta tecnologia não são recomendados para tráfego muito lento ou parado.</li> </ul>
Ultra-sons	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Possibilidade de operação em múltiplas faixas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mudanças de temperatura e turbulência podem afectar o desempenho do sistema</li> </ul>

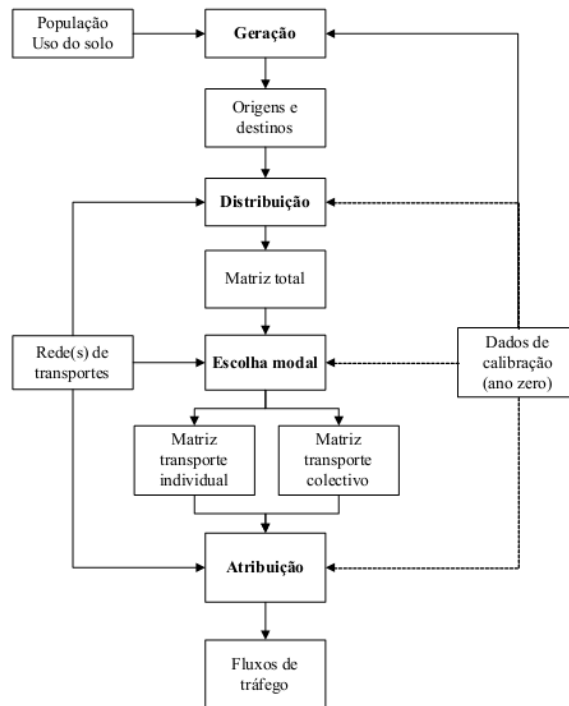
## 2.4 Modelos de afectação de tráfego

Nos estudos de planeamento de transportes existe um método complementar aqueles apresentados anteriormente com vista à obtenção de dados de tráfego. A partir da década de 60 generalizou-se um modelo de atribuição/afecção de tráfego com o objectivo de prever a procura de viagens em actividades de planeamento a longo prazo, conhecido na literatura internacional como “modelo clássico de transportes” ou “modelo dos quatro passos” (ver Figura 2.28). Neste modelo, os quatro pontos fundamentais são: geração de tráfego (1), distribuição de tráfego (2), distribuição modal (3) e atribuição de tráfego (4) (Martínez, 2006). Com a modelação, o resultado principal prende-se com as estimativas de fluxos de tráfego que podem ser obtidas em vias estratégicas, a nível regional (Thomas, 1991 *apud* Vasconcelos, 2004). Na modelação de sistemas viários os principais dados de entrada são provenientes da matriz origem-destino (O-D) das viagens a efectuar e uma rede de transportes sobre a qual essas são distribuídas. A simulação de tráfego congrega ainda a determinação dos trajectos utilizados pelos condutores, a partir dos vários pares O-D e a atribuição do número de viagens em cada trajecto (Vasconcelos, 2004).

Os pontos de partida para a elaboração do modelo são a rede de transportes, o zonamento e a caracterização socioeconómica da população e do uso do solo, informação que permite elaborar o primeiro passo (1), ou seja, estimar um modelo de geração e atracção de viagens na área em estudo por forma a estabelecer as linhas e colunas da matriz O-D. O segundo passo deste modelo consiste na estimativa do fluxo de viagens efectuadas entre todos os pares geradores e atractores de tráfego (2) considerando também a distância e o tempo de viagem. No terceiro passo (3) estimam-se o número de viagens por cada modo de transporte disponível entre cada par O-D, uma vez que numa rede pode-se ter viagens efectuadas com automóvel, transportes públicos, bicicleta e pedonal. Por último atribuem-se às redes correspondentes as matrizes de viagens efectuadas nos diversos modos de transporte (Vasconcelos, 2004). As matrizes O-D podem ser construídas a partir de dados recolhidos através de inquéritos de mobilidade ou contacto directo com os condutores, conforme apresentado em 2.2.8. Por forma a diminuir a existência de erros, deve ter-se em atenção os processos de amostragem de dados nos inquéritos e a definição das zonas de afectação de tráfego. Como tal, devem ser escolhidas zonas relativamente homogéneas em termos de população, características socioeconómicas e tipo de uso do solo (Martínez, 2006; Vasconcelos, 2004).

Apesar de serem modelos matemáticos, a informação que tratam é real, pelo que se torna necessário proceder a simplificações, o que condiciona a precisão dos resultados do modelo. Numa primeira fase é necessário agregar espacialmente as origens e destinos através de um zonamento, por ser impraticável a caracterização espacial de todos os pontos de partida e chegada dos utilizadores da

rede. Outra simplificação que pode conduzir a erros significativos é a adopção de matrizes O-D estáticas, ou seja, sem a consideração da variação de circulação dos veículos ao longo do dia.



**Figura 2.28 -Esquematisação do modelo de atribuição de tráfego de quatro passos (Vasconcelos, 2004)**

Relativamente ao nível de detalhe dos elementos modelados podem ser classificados como macroscópicos, mesoscópicos ou microscópicos. Os modelos macroscópicos caracterizam-se pela análise integrada das correntes de tráfego em meio interurbano e devido à sua simplicidade permitem o desenvolvimento de estratégias de optimização de sistemas de controlo de tráfego. Uma vez que este tipo apresenta limitações nas análises em meio urbano surgiram os modelos de simulação mesoscópicos. Tratam-se de modelos que permitem considerar as demoras em cruzamentos na duração total dos percursos e numa fase posterior do seu surgimento passaram a estudar o efeito que um cruzamento provoca noutro cruzamento. Por último, na sequência do aparecimento de sistemas inteligentes de tráfego surgiram os modelos microscópicos. Estes modelos pretendem reproduzir a dinâmica de cada veículo na rede com base nas características dos condutores e dos veículos, deixando de lado o tratamento do tráfego como blocos homogêneos sujeitos a relações entre fluxo e velocidade, princípio presente nos dois últimos modelos apresentados.

## 2.5 Sistemas de gestão de tráfego

Os sistemas de gestão de tráfego surgiram com o objectivo de otimizar a eficiência das infra-estruturas existentes num país ou numa cidade e promover a circulação dos transportes públicos e de outros meios menos agressivos para o ambiente. Hoje em dia os sistemas de gestão de tráfego devem contribuir para uma rede de transportes mais segura, limpa e eficiente por forma a tornar o uso dos transportes mais sustentável (Seco & Ribeiro, 2003)

Uma vez que os dados fundamentais para a elaboração deste trabalho foram obtidos através de sistemas de gestão de tráfego considerou-se relevante abordar neste subcapítulo dois sistemas de controlo de tráfego da cidade de Lisboa. O primeiro destes denomina-se GERTRUDE (Gestão Electrónica de Regulação do Tráfego Rodoviário Urbano Desafiando os Engarrafamentos) também conhecido como Sistema de Controlo Semafórico da Câmara Municipal de Lisboa (Vieira, 2004). O segundo sistema consiste numa plataforma *online* disponibilizada pela Estradas de Portugal, S.A. intitulada SICIT (Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego).

### 2.5.1 Sistema GERTRUDE

A ideia original deste sistema nasceu em França no ano de 1976 sob a designação de *Gestion Electronique de Régulation du Trafic Urbain Défiat les Embouteillages* (Girão *et al.*, 2006). Na cidade de Lisboa, o GERTRUDE foi implementado em 1985 contribuindo como uma *ferramenta importante na defesa qualidade de vida urbana* (Vieira, 2004). Trata-se de um sistema que funciona em tempo real e segundo uma hierarquia que tem como objectivo: assegurar um bom fluxo de tráfego, beneficiar a circulação dos transportes públicos (corredores *Bus*), assegurar a prioridade aos veículos de emergência e controlar as emissões de gases poluentes para a atmosfera (Girão *et al.*, 2006).

Em termos físicos, a aquisição de dados no terreno é obtida através de cerca de 1600 sensores intrusivos do tipo laços indutivos, instalados sob o pavimento. Para além da sua capacidade de gestão semafórica, os sensores instalados nas vias recolhem o número de veículos detectados pelos laços indutivos fornecendo desta forma volumes de tráfego para futuras análises estatísticas.

O princípio de funcionamento do sistema assenta na gestão das admissões de tráfego em cruzamentos e na decomposição da rede viária da cidade em conjuntos de troços deficitários/excedentários para efeitos de aplicação das estratégias de controlo. De uma forma simbólica podemos comparar o funcionamento de um troço da rede viária a uma “garrafa” conforme ilustrado na Figura 2.29 (Vieira, 2004).



**Figura 2.29- Analogia de um troço da rede viária a uma "garrafa" (Vieira, 2004)**

O sistema de gestão semafórica funciona com base em estratégias de controlo divididas em dois patamares de actuação. Por forma a auxiliar a eficiência do sistema encontram-se instalados detectores de saturação a uma distância estratégica do cruzamento e detectores de contagem numa zona próxima do semáforo. Num primeiro nível, de acordo com base nos dados recebidos através destes sensores e do ciclo anterior, o algoritmo do sistema estabelece um ciclo óptimo, enquanto num segundo nível de actuação o ciclo de temporização semafórica pode ser adaptado às exigências de escoamento de cada cruzamento (Vieira, 2004).

## **2.5.2 Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego**

A empresa Estradas de Portugal, S.A disponibiliza aos seus utilizadores informação de tráfego de natureza diversa a partir de uma plataforma *online*, nomeadamente: volume, classificação, categoria, peso e velocidade média de tráfego em diversos pontos da rede, explorada directamente pela empresa ou em regime de concessão. O *Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego* (SICIT) utiliza um conjunto de equipamentos automáticos para recolha de informação e aplicações informáticas para tratamento e exposição dos dados recolhidos em tempo real (SICIT, 2012).





### **3 Enquadramento da rede viária da cidade de Lisboa**

#### **3.1 Objectivo do enquadramento**

Este capítulo tem por objectivo enquadrar o desenvolvimento da rede viária na cidade de Lisboa através da apresentação sumária da evolução histórica da cidade, por forma a compreender o aparecimento das grandes áreas residenciais e as vias de ligação citadinas e representar os aspectos mais importantes da geomorfologia da cidade.

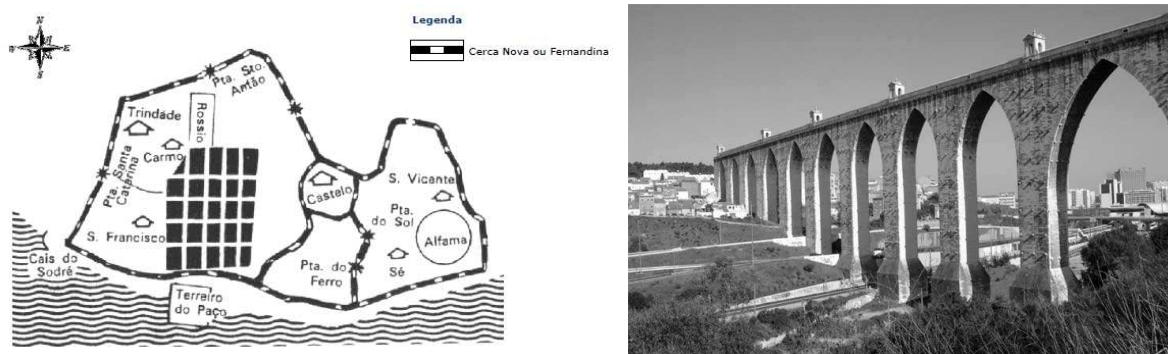
#### **3.2 Enquadramento histórico da cidade**

A cidade de Lisboa, ao longo do tempo conheceu diversas fases e ritmos de crescimento começando por ser na sua longa história uma citânia<sup>12</sup> localizada a norte do actual Castelo de São Jorge. A partir do século III a cidade adquire uma forma diferente, passando todo o edificado para dentro de uma fortificação, de forma a que a cidade nasce dentro de um conjunto de muralhas. No período da ocupação por Castela em 1000 d.C. os muros da cidade descem pela encosta até ao rio Tejo. A expansão de Lisboa ocorre apenas no reinado do primeiro rei de Portugal, D. Afonso Henriques, com uma herança deixada no século X, a zona da Baixa e o arrabalde de Alfama. Numa fase posterior ao reinado do primeiro rei de Portugal e sob comando de D. Dinis, o centro da cidade desloca-se para a zona da Baixa, após obras de consolidação e drenagem. Em 1373, o actual rei de Portugal D. Fernando, avança com a construção de uma nova muralha de defesa designada por “Cerca Nova” ou “Fernandina” (Figura 3.1), altura em que a cidade de Lisboa passou a ser um núcleo de um importante sistema económico de trocas comerciais. Durante o reinado de D. Manuel I surge o Bairro Alto, marcando a passagem do séc. XVI para o séc. XVII, tornando-se no primeiro loteamento renascentista na cidade (França, 1980).

O *Aqueduto das Águas Livres* na sequência do período barroco marcou as construções efectuadas no séc. XVIII na cidade de Lisboa (Figura 3.1), permitindo desta forma levar água à população da cidade com consequente desenvolvimento e urbanização de novos espaços (França, 1980).

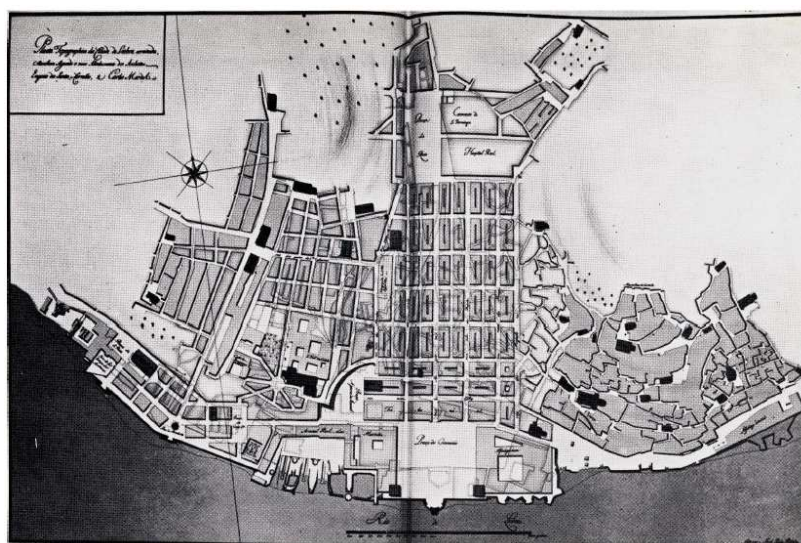
---

<sup>12</sup> Designação atribuída a várias povoações fortificadas, pré-Romanas da Península Hispânica.



**Figura 3.1 - Ilustração da "Cerca Nova" construída em 1373 (à esquerda) e do Aqueduto das Águas Livres (à direita) (CML, 2007)**

No século XVIII, o terramoto de 1755 que deixou um rasto de destruição na baixa lisboeta começou por trazer uma nova filosofia ao desenho urbano da cidade. A tarefa coube a Sebastião José de Carvalho e Melo (conhecido por Marquês de Pombal) e ao arquitecto Eugénio dos Santos que apresentaram um plano de reconstrução com um traçado funcional (Figura 3.2), incluindo uma malha ortogonal de quarteirões homogéneos destacando-se a criação das ligações entre o Terreiro do Paço e o Rossio (através das ruas Áurea, Augusta e Prata). Ainda neste século, a norte do Rossio surge em 1764 o “Passeio Público” que mais tarde viria a ser ligado a novas avenidas e a bairros construídos por uma burguesia em ascensão (Mesquita, 2008).



**Figura 3.2 - Planta de Lisboa proposta por Eugénio dos Santos em 1756 e completada por Carlos Mardel (França, 1980)**

No séc. XIX os limites da cidade continuaram em expansão, sendo alargados sempre em “círculos” com centro na zona da Baixa Pombalina, surgindo a necessidade de uma nova definição do perímetro urbano através da construção da Estrada de Circunvalação. Este período oitocentista ficou

marcado também pela construção da Avenida da Liberdade<sup>13</sup> e da Avenida Almirante Reis, para além de ter sido ligado o Parque da Liberdade (Parque Eduardo VII) até ao Campo Grande através da Avenida Fontes Pereira de Melo (Mesquita, 2008). O final do século XIX fica marcado pela construção das Avenidas Novas e pela consequente demolição do “Passeio Público”, projecto que vedava o crescimento da cidade para norte (França, 1980).

Instaurado em 1926, o regime do Estado Novo alterou o processo de urbanização da cidade fazendo crescer novos bairros, tais como, Restelo, Alvalade, Olivais e Chelas e em 1938, Duarte Pacheco, então Presidente da Câmara de Lisboa fez avançar o novo plano de urbanização da cidade conhecido também pelo *plano De Gröer*. O plano director que começou nos anos 40 do séc. XX trouxe uma série de novos arruamentos citadinos, como a Avenida Almirante Reis até à Encarnação, a ligação da Avenida da Liberdade – Avenida da República – Campo Grande até ao Lumiar e Avenida António Augusto de Aguiar por São Sebastião e Palhavã. Na sequência deste plano nasceu também a auto-estrada a caminho do Estoril (actual auto-estrada A5 – Lisboa/Cascais) com início na rotunda do Marquês de Pombal e passagem pelo parque florestal de Monsanto. A partir do Terreiro do Paço nasceu uma via para Este até aos Olivais e uma outra para Oeste até Algés que mais tarde viria a ligar à estrada Marginal. Um conjunto de outras estradas nasceram neste período, de forma a melhorar as ligações dentro da cidade e ao Aeroporto, também fruto deste período, destacando-se a 2ª Circular, Avenida Gomes da Costa (ligação dos Olivais ao Aeroporto) e Avenida do Brasil (ligação do Aeroporto ao Campo Grande (França, 1980).

O plano iniciado por Pacheco viria a ter o seu término em 1948, não tendo ficado terminado foi entregue a um Gabinete Técnico de Urbanização que passados dez anos apresentou um novo plano, onde já estava estudada a primeira travessia sobre o rio Tejo que só veio a ser concretizada em 1966, prolongando a “Grande Lisboa” para Almada, Barreiro e Seixal (Figura 3.3). Por outro lado, as auto-estradas de Sintra e Cascais permitiram o alargamento do tecido urbano até aos concelhos de Oeiras, Cascais, e Sintra e a Norte de Lisboa, os concelhos de Loures e Vila Franca de Xira (França, 1980).

---

<sup>13</sup> “a avenida da Liberdade assume um papel de destaque pois inaugura em Lisboa os novos valores do urbanismo moderno e constitui-se como palco de experiências arquitectónicas pioneiras” (Mesquita, 2008).

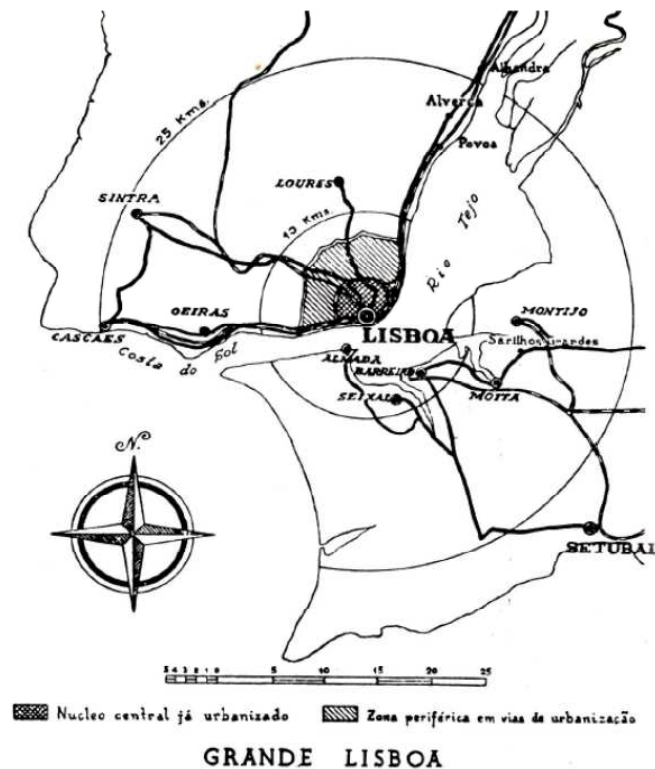


Figura 3.3 - Esquema da rede viária da "Grande Lisboa" em 1952

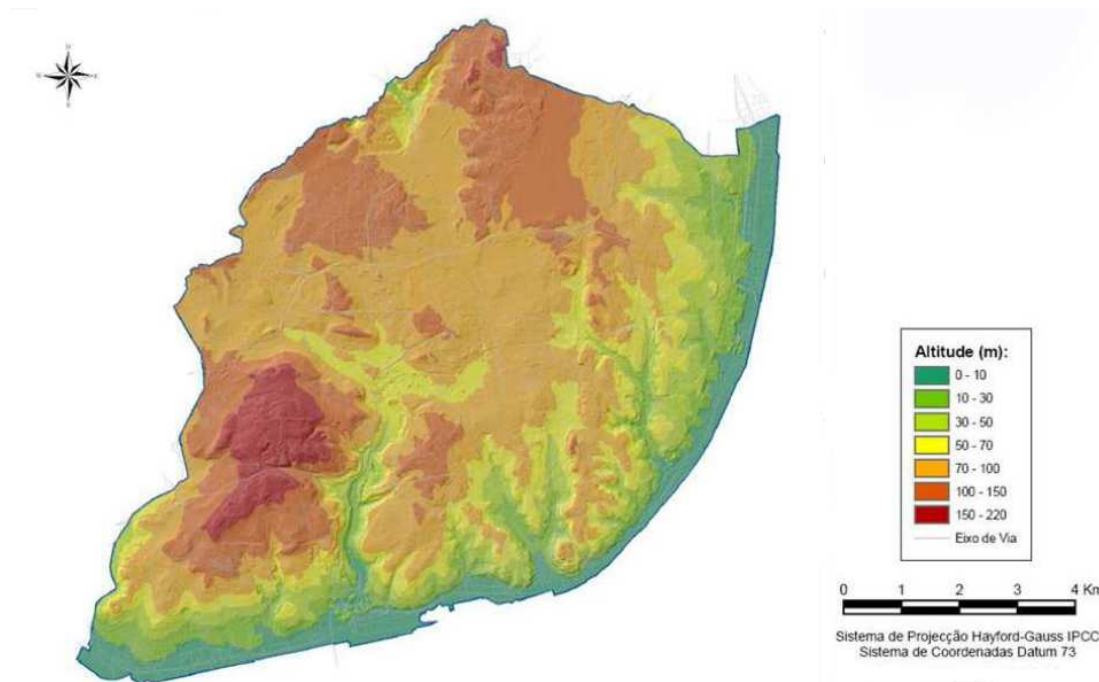
### 3.3 Enquadramento geográfico da cidade

Este ponto destina-se a enquadrar a cidade de Lisboa no contexto nacional e fazer uma breve apresentação morfológica da área de estudo a abordar neste trabalho.

A cidade de Lisboa, capital de Portugal, está localizada na faixa ocidental do território continental a cerca de 30 km do Oceano Atlântico e na margem norte do estuário do rio Tejo (Baltazar, 2010). A nível Europeu é a capital mais ocidental da Europa continental, e comparando com outras cidades Europeias, os limites da cidade de Lisboa encontram-se bem delineados.

Em termos topográficos, Lisboa caracteriza-se pelo seu relevo acidentado e robusto, como se pode observar na carta hipsométrica<sup>14</sup> da Figura 3.4 que ilustra as características do terreno da capital.

<sup>14</sup> Segundo (CML, 2010) a carta hipsométrica foi elaborada com base na planta de altimetria do levantamento aerofotogramétrico de 1998 à escala 1/1000, com 7 classes de altimetria definidas.



**Figura 3.4 - Carta hipsométrica da cidade de Lisboa (CML, 2010)**

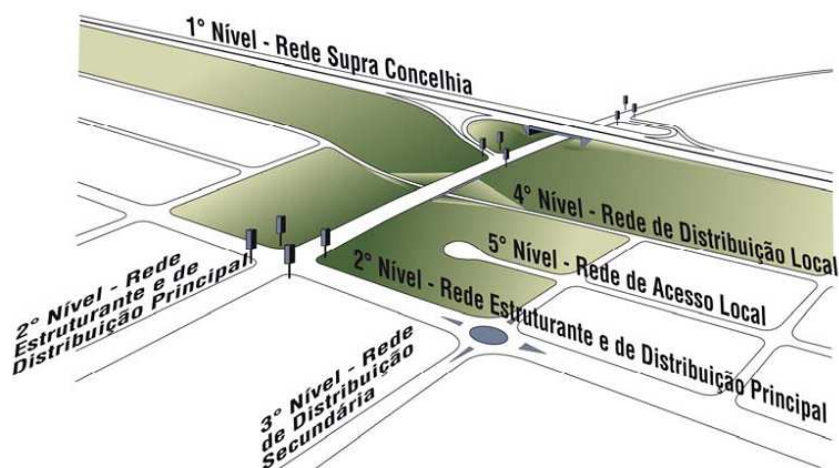
Segundo Vieira (2004) a zona de Monsanto (oeste da cidade) apresenta-se como uma das zonas mais altas da cidade, com uma cota de 225 metros enquanto a sul e sudeste da cidade se destacam um conjunto de elevações independentes designadas localmente pelas “Colinas de Lisboa”, cujas altitudes variam entre os 70 e os 100 metros.

### **3.4 Estrutura da rede rodoviária**

#### **3.4.1 Enquadramento teórico da hierarquização**

O presente subcapítulo destina-se ao enquadramento do tema da rede rodoviária nacional. O processo de hierarquização da rede viária pretende classificar as vias de tráfego de acordo com a função que estas desempenham numa rede de transportes. Numa via é necessário ter em atenção os três parâmetros que a caracterizam: capacidade de transporte, tipo de acessibilidade e envolvente social (IMTT, 2011).

Numa cidade com um elevado volume de tráfego torna-se de extrema importância o planeamento de uma eficaz rede de transportes, surgindo deste modo a necessidade de estabelecer uma hierarquia para as vias que estabelecem diariamente as diferentes ligações à cidade bem como as ligações dentro desta, como se apresenta esquematicamente na Figura 3.5.



**Figura 3.5 - Esquematização da hierarquização da rede viária (Cours Ville et Transport – Epfl-Litep – Suíça *apud* IMTT, 2011)**

Nos dois subcapítulos seguintes é feita uma descrição da classificação adoptada tanto para a rede rodoviária nacional como para a rede rodoviária do município de Lisboa.

### **3.4.2 Rede rodoviária nacional**

Em Portugal, a classificação e as características das comunicações públicas rodoviárias são definidas num documento intitulado *Plano Rodoviário Nacional* (PRN) que teve a sua primeira publicação em 1944 (Decreto-lei nº33/916) surgindo a necessidade de nova revisão em 1945 através da publicação de um novo decreto (Decreto-lei nº34/593). Aquando da sua primeira versão do PRN verificava-se em Portugal que era extremamente necessário rever a classificação das estradas nacionais e municipais, para corresponder à função que estas desempenhavam na economia nacional. Em 1945 as comunicações públicas rodoviárias foram então divididas em: estradas nacionais (1ª, 2ª e 3ª classe), estradas municipais e caminhos públicos (caminhos municipais e vicinais<sup>15</sup>). Note-se que as estradas nacionais de 1ª e 2ª classe constituem a rede fundamental do país e os itinerários principais (IP) estão incluídos nas estradas nacionais de 1ª classe.

No ano de 1985, no sentido do desenvolvimento orgânico do país e por forma a consagrar o regime jurídico das comunicações públicas rodoviárias afectas à rede nacional foi promulgado uma actualização do PRN no Decreto-Lei nº380/85, de 26 de Setembro (PRN 1985). O PRN na sua versão de 1985 distingue duas categorias na classificação das comunicações públicas rodoviárias nacionais, as quais ainda permanecem válidas: a rede nacional fundamental, da qual fazem parte os itinerários

<sup>15</sup> Os caminhos vicinais destinam-se ao trânsito rural, deixando o tráfego automóvel circular em raras excepções.

principais (IP) e a rede nacional complementar a que pertencem os itinerários complementares (IC) e as estradas nacionais (EN).

Passados mais de dez anos após a publicação do *PRN 1985* e tendo em consideração a experiência adquirida ao longo dos tempos e os desenvolvimentos socioeconómicos verificados após a adesão de Portugal à União Europeia procedeu-se à revisão do documento, sob a designação de *Plano Rodoviário Nacional 2000* com a sua formalização através do Decreto-Lei nº228/98, de 17 de Julho, alterado pela Lei nº98/99, de 26 de Julho. Com vista à satisfação de interesses supra municipais e complementares à rede rodoviária nacional foram criadas as estradas regionais (ER), estando estas sob o enquadramento normativo das estradas da rede rodoviária nacional salvo se deixarem de ser responsabilidade da administração central. A revisão do PRN incluiu ainda: uma rede nacional de auto-estradas com cerca de 3000 km de extensão, 10 novos itinerários complementares e um aumento da sua extensão em 33%. Por forma a melhorar a eficiência do sistema de circulação ficou prevista a instalação de sistemas inteligentes de informação e gestão de tráfego.

Em termos de abrangência da rede rodoviária nacional, os IP são as vias de comunicação de maior importância e asseguram a ligação entre os centros urbanos com influência supra distrital e destes com aeroportos, portos e fronteiras terrestres. Com uma área de afectação menor, a rede nacional complementar assegura a ligação entre a rede fundamental e os centros urbanos de influência concelhia ou supra concelhia (sempre infra distrital). No último patamar desta pirâmide encontra-se a rede municipal que é constituída pelas estradas municipais (EM) e caminhos municipais (CM). As estradas regionais têm como principais funções a ligação entre concelhos e estabelecer a continuidade de estradas nacionais nas mesmas condições de segurança.

### **3.4.3 Rede rodoviária do município de Lisboa**

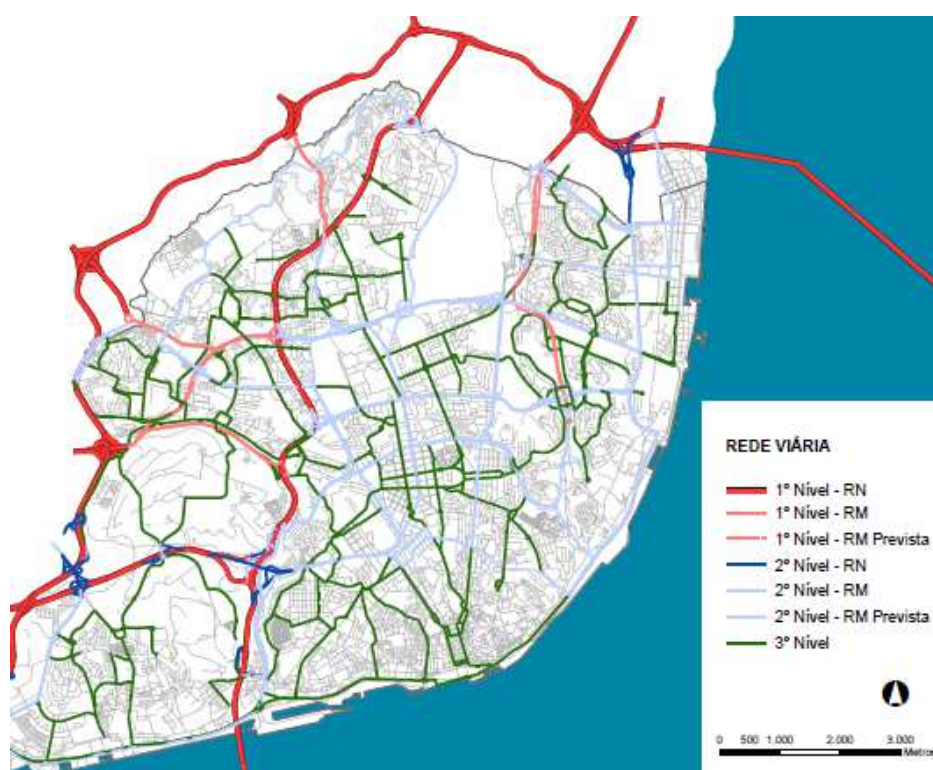
O planeamento da mobilidade numa cidade constitui uma peça fundamental no ordenamento do território e do urbanismo de um município. O relatório técnico *Lisboa: o desafio da mobilidade* promovido pela Câmara Municipal de Lisboa teve como intuito a resolução dos problemas estruturais da cidade de Lisboa integrando também *o trabalho desenvolvido no sector da Mobilidade e Transportes para a revisão do Plano Director Municipal e para a elaboração do Plano de Mobilidade*. No referido relatório, surgiu a necessidade de *orientar as propostas de especificação e organização do sistema viário* (CML, 2005) com vista à análise do seu desempenho.

Foi definida uma rede de 4 níveis hierárquicos com funções específicas, como se apresenta no Quadro 3.1 e na Figura 3.6.



**Quadro 3.1 - Hierarquização da rede viária proposta na bibliografia (CML, 2005)**

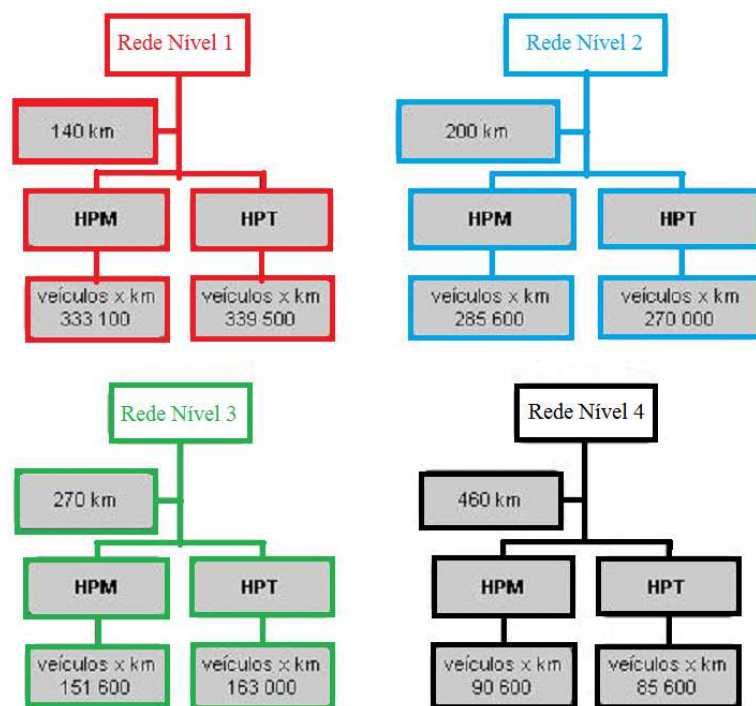
Nível	Tipo	Função
1	Rede estruturante	Tem o dever de assegurar os principais atravessamentos da cidade, suportar os percursos mais longos no seu interior ou a ligação com os concelhos vizinhos
2	Rede de distribuição principal	Tem o dever de assegurar a distribuição dos maiores fluxos de tráfego da cidade, bem como os percursos médios e o acesso à rede de 1º nível
3	Rede de distribuição secundária	Tem o dever de assegurar a distribuição próxima, bem como o encaminhamento dos fluxos de tráfego para as vias de nível superior
4 a)	Rede de proximidade	Deverá ser composta por vias estruturantes dos bairros, com alguma capacidade de escoamento, mas onde o elemento principal é o peão
4 b)	Rede de acesso local	Deverá garantir o acesso ao edificado, reunindo porém condições privilegiadas para a circulação pedonal



**Figura 3.6 - Rede viária para a cidade de Lisboa (fornecido por Ana Paula Dias – C.M.L.)**



Segundo o mesmo relatório, a rede fundamental (1º e 2º nível) corresponde a cerca de 32 % do total da rede viária da cidade de Lisboa (1.070 km) sendo os restantes 68% pertencentes à rede local (3º e 4º nível). Na Figura 3.7 pode-se identificar o número de veículos.km que circulam nos 4 níveis da rede hierárquica, na hora de ponta da manhã (HPM) e na hora de ponta da tarde (HPT) bem como a respectiva extensão de cada nível.



**Figura 3.7 – Veículos.km distribuídos pela rede hierárquica (Fonte: TIS.pt- Modelo de Tráfego da Cidade de Lisboa *apud* CML, 2005)**

#### **3.4.3.1 Características dos níveis hierárquicos da rede viária**

Segundo o relatório *Lisboa: o desafio da mobilidade* as vias pertencentes a cada nível hierárquico da rede devem responder às características desse mesmo patamar. No Quadro 3.2 apresentam-se as exigências específicas para cada nível da rede, nomeadamente: a sua função, características físicas, acessos à via, atributos operacionais, existência de transportes colectivos e existência de circulação de peões e de velocípedes (CML, 2005).

**Quadro 3.2 - Características dos níveis hierárquicos da rede viária (adaptado de CML, 2005)**

	Tipo de via		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
<b>Função na rede</b>	Suporte aos percursos de longa distância, como sejam ligações entre supra-setores da cidade	Distribuição inter-setores e servir de ligação à rede estruturante	Distribuição de proximidade e distribuição do tráfego dos setores urbanos
<b>Características físicas</b>	Mínimo de 3 vias por sentido com separação obrigatória entre sentidos de circulação	Mínimo de 2 vias por sentido, sendo desejável a separação de sentidos de circulação	Mínimo de 1 via por sentido, não havendo restrições à separação de sentidos de circulação
<b>Acessos</b>	Apenas ligações com vias do mesmo nível ou nível adjacente;	Em nós ou em intersecções de nível ordenadas e com regulação de tráfego e limitados às restrições funcionais;	Livres, limitados às restrições funcionais
<b>Atributos operacionais</b>	Velocidade padrão de 70-90 km/h. Estacionamento e cargas e descargas interditos	Velocidade padrão de 40-70 km/h. Cargas e descargas interditas e estacionamento autorizado com regulamentação própria, sujeito a restrições operacionais da via	Velocidade padrão de 30-50 km/h. Cargas e descargas reguladas e estacionamento autorizado com regulamentação própria, sujeito a restrições operacionais da via
<b>Transportes colectivos</b>	É permitida a criação de corredores <i>Bus</i> , devendo as paragens ter sítio próprio e com faixa de aceleração	É permitida a criação de corredores <i>Bus</i> , devendo as paragens ter sítio próprio	É permitida a criação de corredores <i>Bus</i> , sendo as paragens preferencialmente em sítio próprio
<b>Circulação pedonal/velocípedes</b>	Interdita	Segregado	Segregado

#### 3.4.3.2 Distribuição das principais vias por nível e tipo de ligação

Tomando como referência o relatório *Lisboa: o desafio da mobilidade*, apresentam-se no Quadro 3.3 as principais avenidas e ruas existentes, devidamente enquadradas por nível hierárquico e o tipo de ligação que efectuam na rede (circular, radial ou outra) (CML, 2005).

**Quadro 3.3 - Distribuição das principais vias por nível e tipo de ligação (adaptado de CML, 2005)**

Nível	Tipo de ligação	Vias	Observações
1	Circular	CRIL e 2ª Circular	
	Radial	Eixo Norte-Sul e IC 15 (A5)	
	Circular	Primeira circular externa	Eixo Norte-Sul, Av. das Forças Armadas, Av. dos Estados Unidos
		Primeira circular interna	Eixo Norte-Sul, Av. de Ceuta, Av. Calouste Gulbenkian, Av. Berna, túnel da Av. João XXI, Av. Alfredo da Costa
		Circular ribeirinha	Av. da Índia, Av. de Brasília, Av. 24 de Julho, Av. Ribeira das Naus e Av. Infante Dom Henrique
2	Radial	Túnel das Amoreiras, Av. Fontes Pereira de Melo, Av. da República, Campo Grande, Av. António Augusto de Aguiar, Av. dos Combatentes, Radial de Benfica, Av. Lusíada, Av. Padre Cruz, Calçada de Carriche, Av. Almirante Gago Coutinho, Av. Marechal Gomes da Costa, Av. Santo Condestável, Av. Alfredo Bensaúde, Av. de Berlim, Av. Santos e Castro, Av. Vasco da Gama e Av. das Descobertas	
	Outras	Via estruturante da zona ocidental, Av. M. Teixeira Rebelo e Av. das Nações Unidas	
3	Circular	Circular das Colinas	Av. Infante Santo, Túnel Estrela (a construir), Av. Álvares Cabral, Largo Rato, Av. Alexandre Herculano, R. Conde Redondo, R. J. Bonifácio, R. Jacinta Marto, R. Angola, Túnel Miradouro (a construir), R. C. Ed. Galhardo e Av. Mouzinho de Albuquerque
	Radiais	Av. da Liberdade	
		Av. Almirante Reis	
	Outras	Av. do Brasil, Av. 5 de Outubro, Av. de Roma, Estrada da Luz, Rua de Belém, Av. João Crisóstomo, Av. Miguel Bombarda, Av. Príncipe Perfeito	

### 3.4.3.3 Corredores viários de acesso à cidade de Lisboa

A cidade de Lisboa é um polo atractor de tráfego estando rodeada por um conjunto de concelhos que diariamente geram tráfego de entrada na cidade. O concelho de Lisboa possui sete grandes corredores viários que estabelecem a ligação com os concelhos limítrofes, nomeadamente: Cascais (A5 e EN 6 – Avenida Marginal), Sintra/Amadora (IC 19 e EN 117), Amadora/Loures (IC 22 – Radial de Odivelas), corredor Oeste (A8), corredor Norte (A1, EN 10 e variante IC2), Ponte Vasco da Gama (A12) e Ponte 25 de Abril (A2). Segundo o relatório *Lisboa: o desafio da mobilidade* (CML, 2005) e à data da sua publicação em 2005 estimava-se que a circulação (nos dois sentidos) nos acessos a Lisboa era de cerca 826 000 veículos por dia, sendo que 412 000 veículos entravam no concelho de Lisboa pelos corredores de Cascais, Sintra/Amadora e Ponte 25 de Abril. Do tráfego que entra no concelho, apenas 56 % termina a sua viagem no interior de Lisboa.

Numa análise efectuada em 2004 à hora de ponta da manhã (HPM), 70% do tráfego que entra na cidade de Lisboa é escoado pelos corredores de Cascais, Sintra/Amadora, Amadora/Loures, A1 (entrada norte) e Ponte 25 de Abril. Em termos gerais, o tráfego contabilizado no sentido de entrada em Lisboa atinge cerca de 41.700 veículos ligeiros por hora, sendo que 26 % desse volume surge como tráfego de atravessamento da cidade (CML, 2005). No Quadro 3.4 apresentam-se as principais vias de destino no interior da cidade de Lisboa na hora de ponta da manhã e os respectivos fluxos de tráfego a partir das vias de entrada.

**Quadro 3.4 - Principais vias de destino na cidade de Lisboa na HPM (CML, 2005)**

Corredor	Vias de acesso a Lisboa	Principais vias de destino	% do fluxo
Cascais	IC15 (A5)	CRIL (sentido Buraca)	33 %
		Viaduto Eng.º Duarte Pacheco	19 %
		Avenida das Descobertas	17 %
		Ponte 25 de Abril	17 %
	EN 6	Av. da Índia/ Av. 24 de Julho	78%
Sintra/Amadora	IC 19	2ª Circular	47 %
		Radial de Benfica	41 %
	EN 117	Viaduto Eng.º Duarte Pacheco	30 %
		Av. das Descobertas	23 %
		CRIL (sentido Algés)	20 %
		Ponte 25 de Abril	15 %
Amadora/Loures	IC 22	Calçada de Carriche	96 %
Oeste	A8	CRIL (sentido ponte)	76 %
		Calçada de Carriche	24 %

**Quadro 3.4 - Principais vias de destino na cidade de Lisboa na HPM (CML, 2005) - continuação**

Corredor	Vias de acesso a Lisboa	Principais vias de destino	% do fluxo
Norte	A1	2ª Circular	76 %
	EN 10 e IC 2	Av. Infante Dom Henrique/ Av. Dom João II	81 %
Ponte Vasco da Gama	A 12	Av. Infante Dom Henrique	60 %
		CRIL (sentido Alfoanelos)	18%
		2ª Circular	10 %
Ponte 25 de Abril	A2	Alcântara	27 %
		Av. das Forças Armadas	18 %
		Eixo N-S	15 %
		IC 15	13 %
		Viaduto Eng.º Duarte Pacheco	13 %



## 4 Metodologia para estimação de TMDA na cidade de Lisboa

### 4.1 Enquadramento teórico da metodologia

O conhecimento do tráfego rodoviário que passa numa determinada via ou faixa de rodagem constitui informação essencial de qualquer estudo de tráfego e o seu valor representativo mais usual é o Tráfego Médio Diário Anual (TMDA). A partir dos anos 80 diversos trabalhos têm sido publicados abordando a estimativa do TMDA e o estudo da precisão da adopção de valores a partir de contagens de pequena duração. O estudo do tráfego diário que passa numa determinada via ou faixa de rodagem é um instrumento essencial para as operações de controlo de tráfego, projecto de vias e pavimentos, planeamento urbano e segurança rodoviária, às quais as respectivas unidades responsáveis nacionais têm de estar particularmente atentas (AASHTO, 2009; Bassan, 2009).

Surgiu nos Estados Unidos da América em 1985 uma publicação de referência para os profissionais ligados à monitorização do tráfego designada por *Traffic Monitoring Guide*<sup>16</sup> (TMG), tendo sido desenvolvido para ajudar os estados a implementar os seus programas de monitorização (FHWA, 2001). Esta publicação, realizada pela *Federal Highway Administration – U.S Department of Transportation* viria a ser em 1990 complementada com a publicação *Guidelines for Traffic Data Programs*<sup>17</sup> por parte da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) (AASHTO, 2009). O primeiro documento (TMG) foca as características dos dados de tráfego a recolher, enquanto a publicação da AASHTO tem o seu objectivo virado para o processo de recolha dos dados, armazenamento e tratamento dos mesmos. Devido aos avanços na monitorização de tráfego, ambas as publicações têm sofrido actualizações e servem como documentos orientadores para o estudo do tráfego.

#### 4.1.1 Programas de contagens

Conforme referido em 1.1 o conhecimento do tráfego é fundamental na área da engenharia de transportes mas em termos económicos não é viável instalar equipamentos de contagens contínuas em todos os locais que necessitem de ser analisados (Gadda, Kockelman, & Magoon, 2007). Este é o pressuposto para definir, em termos de duração dois tipos de contagens: contínuas e de curta-duração. As contagens contínuas fornecem dados de 24h durante os 365 dias de um ano e as contagens de curta-

---

<sup>16</sup> O documento *Traffic Monitoring Guide* tem 4 edições publicadas (1985, 1992, 1995 e 2001)

<sup>17</sup> A publicação *Guidelines for Traffic Data Programs* teve a sua revisão em 2009 depois de duas edições (em 1990 e 1992)

duração podem recolher dados, segundo Sharma *et al.*(1996) desde 1h até 168h ou mais. Por outro lado, AASHTO (2009) considera que uma contagem de curta-duração consiste na aquisição de pelo menos 24h de contagens para todas as vias de uma ou duas direcções de tráfego. O uso de contagens contínuas permite conhecer a flutuação do tráfego ao longo do dia, semanas e meses de um ano. Em alternativa, podem efectuar-se estimativas recorrendo a contagens de tráfego de pequena duração, designadas na literatura internacional por *short-period traffic counts* (SPTC). Aquando da adopção desta última via para a obtenção do TMDA de uma determinada faixa de rodagem os valores têm de ser convertidos através da aplicação de factores de expansão/ajustamento (FHWA, 2001).

Em alguns projectos de dimensionamento de pavimentos rodoviários pode ser necessário recorrer a programas de contagens que incluam o volume de tráfego discriminado (veículos ligeiros, pesados, autocarros, etc.) por forma a poder construir o Tráfego Médio Diário Anual de Pesados (TMDAP). Note-se que, perante esta situação, a estimação de TMDAP a partir de contagens de curta duração terá de envolver a aplicação de um factor de conversão de eixos (*axle factors*) por forma a obter valores de TMDA por classe de veículo (AASHTO, 2009).

Para facilitar a aplicação da metodologia, as estradas podem ser agrupadas. Neste seguimento, devem possuir características semelhantes, nomeadamente: volume de tráfego, geometria das vias e variação de tráfego sazonal idêntica. A partir do instante em que as estradas se encontrem agrupadas e comportem características semelhantes pode-se estimar o TMDA de estradas que não contenham dados, como por exemplo o volume de tráfego (Bassan, 2009).

#### 4.1.2 Cálculo do Tráfego Médio Diário Anual

Conforme discriminado acima, o TMDA de uma estrada pode ser obtido com base na duração das contagens efectuadas. Começando pelo primeiro tipo de contagens, se o modo de obtenção de volumes de tráfego for contínuo, a formulação proposta por AASHTO apresenta-se como:

$$TMDA = \frac{\sum_{z=1}^{12} TMDM_z}{12} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Em que  $TMDM_z$  representa o tráfego médio diário mensal para um mês genérico Z. O valor de TMDA representa o número de veículos/dia/sentido.

Caso não exista um valor referente a um mês, a equação (Eq. 4.1) pode ser adaptada ao número de meses disponíveis (Bassan, 2009).



Nas situações em que os volumes de tráfego procedem de contagens de curta-duração, o tráfego diário tem de ser convertido em valores de TMDA próximos do real. Considerando que se pretende estimar o TMDA para um conjunto de vias de uma estrada localizada no sítio  $i$  e pertencente ao grupo de estradas  $j$  podem-se adoptar factores de ajustamento consoante a duração da contagem (horas ou dias) e o cálculo passa a exprimir-se da seguinte forma (FHWA, 2001):

$$TMDA_{estimado,i} = VOL_i * F_{Mj} * F_{Dj} * A_j * G_j \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Em que  $VOL_i$  é o volume de tráfego (por eixos) nas 24h da localização  $i$ ,  $F_{Mj}$  é o factor de ajustamento mensal para o grupo de estradas,  $F_{Dj}$  é o factor de ajustamento diário para o grupo de estradas  $j$ ,  $A_j$  é o factor de ajustamento por eixos de veículos (*axle-correction factor*) para um grupo de estradas  $j$  e  $G_j$  é o factor de crescimento de tráfego para um grupo de estradas  $j$ . Consoante o objectivo do estudo e os dados disponíveis, a equação acima pode ser alterada, eliminando ou acrescentando factores de ajustamento, bem como modificar a parcela referente ao volume de tráfego, uma vez que o volume pode ser expresso em eixos ou em número de veículos. Caso o equipamento de recolha de informação de tráfego forneça o volume em número de veículos não é necessário aplicar o factor de ajustamento por eixos  $A_j$ .

#### 4.1.2.1 Factores de ajustamento

Os factores de ajustamento permitem converter uma contagem de tráfego de curta-duração numa estimativa do TMDA e podem ser formulados a partir das contagens de tráfego contínuas, uma vez que estas permitem conhecer a variação horária, diária e mensal do tráfego numa determinada estrada. Gadda, Kockelman, & Magoon (2007) definem o factor mensal e diário como:

$$F_{Mj} = \frac{TMDA_{referência}}{TMDM_Z} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$F_{Dj} = \frac{TMDA_{referência}}{TMD_Y} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Em que  $TMDA_{referência}$  corresponde ao valor de TMDA obtido tendo em conta as contagens contínuas efectuadas para um determinado grupo de estradas  $j$ ,  $TMDM_Z$  é o Tráfego Médio Diário

Mensal para um mês genérico Z em que se pretende obter o factor (ver ponto 4.3.3) e  $TMD_Y$  corresponde ao Tráfego Médio Diário para o dia em questão da estrada em estudo (ver ponto 4.3.2).

Na situação em que os dados fornecidos se refiram a número de eixos, a aplicação do factor de ajustamento de eixos é preponderante na correcta estimativa do TMDA, uma vez que a existência de tráfego pesado afecta o tratamento dos dados fornecidos. Caso este seja relevante, a bibliografia recomenda que estes factores sejam desenvolvidos para cada estrada em particular através de contagens classificadas de veículos.

Por último, o factor de crescimento de tráfego  $G_j$  pretende traduzir na estimativa de TMDA o possível crescimento do volume de veículos numa determinada localização, podendo este ser obtido a partir de contagens contínuas com uma amostra significativa ao longo dos anos.

#### 4.1.3 Erros e precisão na estimativa de Tráfego Médio Diário Anual

Aquando da estimação do TMDA a partir de contagens de curta-duração e consequente aplicação de factores de ajustamento previamente determinados para o grupo da estrada em estudo, poderá este valor de TMDA estimado desviar-se do seu valor de referência, calculado com base em contagens contínuas. A percentagem de erro pode ser obtida através da seguinte equação (Gadda et al., 2007):

$$\% Erro_i = \frac{|TMDA_{referência} - TMDA_{estimado,i}|}{TMDA_{referência}} * 100 \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Durante a formulação dos factores de ajustamento podem surgir três tipos de erros: erros de amostragem pura (*pure sampling error*), erros de criação de factores (*factoring error*) e erros de classificação incorrecta (*misclassification error*). O primeiro destes erros ocorre quando os factores de ajustamento são obtidos a partir de dados do próprio local a estimar; os erros de criação de factores surgem quando são utilizados dados a partir de estradas com características de tráfego semelhantes aquelas em que se pretende estimar o TMDA e por último surge o erro que está associado a uma atribuição incorrecta de um grupo de estrada. Como exemplo deste último caso, é a estimação do TMDA para uma estrada localizada na rede de 3º nível adoptando factores de ajustamento calculados para uma estrada pertencente à rede de 2º nível) (Gadda, Kockelman, & Magoon, 2007).

A precisão na estimativa do TMDA pode ainda ser influenciada pela existência de mais dois tipos de erros: espaciais e temporais. Os erros espaciais resultam da estimativa de TMDA a partir de um local de amostragem próximo do segmento de estrada pretendido e os erros temporais surgem

quando o TMDA é estimado recorrendo a poucos dias ou horas de dados recolhidos ou são previstas contagens de anos futuros.

## 4.2 Informação recolhida

Neste subcapítulo é apresentada de forma detalhada a informação que serviu de base à metodologia de estimação de TMDA.

Como já referido anteriormente, os dados utilizados no desenvolvimento da presente dissertação foram obtidos a partir de duas fontes distintas. As estradas pertencentes ao primeiro nível da rede viária hierárquica acedeu-se à base de dados *online* do *Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego* (SICIT) da empresa *Estradas de Portugal, S.A.* Para as estradas pertencentes ao segundo e terceiro níveis da rede foram utilizados os dados provenientes do sistema GERTRUDE da Câmara Municipal de Lisboa, cedidos ao LNEC. Os dados fornecidos referem-se ao ano 2007 mas não constituem uma série completa anual, apenas foram disponibilizados alguns meses do ano (Janeiro, Fevereiro, Março, Maio, Julho, Setembro e Novembro), compreendendo 80 postos de contagem distribuídos por 11 zonas da cidade de Lisboa (ver Quadro 4.1). Os 11 postos de contagem instalados em corredores *bus* foram excluídos do presente estudo uma vez que as estimativas de TMDA propostas serão feitas sem desagregação dos veículos motorizados.

**Quadro 4.1 - Identificação das zonas analisadas na rede de 2º e 3º nível e respectiva localização na cidade de Lisboa**

Denominação de zona	Localização
Zona 1	Praça do Comércio
Zona 2	Restauradores
Zona 3	Marquês de Pombal
Zona 4	Saldanha
Zona 5	Campo Pequeno
Zona 6	Roma
Zona 7	Areeiro
Zona 8	Alcântara
Zona 9	Praça de Espanha
Zona 10	Parque das Nações
Zona 11	Rotunda do aeroporto



**Quadro 4.2 - Identificação das localizações e dados disponíveis na rede de 1º nível**

<b>Dados da Estradas de Portugal, S.A</b>			
<b>Postos de contagem</b>	<b>Localização dos postos de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>12 meses</b>
EP 1	2ª Circular -sentido E/O	Sim	Sim
EP 2	2ª Circular -sentido O/E	Sim	Sim
EP 3	Eixo Norte-Sul (IP7) - sentido S/N	Sim	Sim
EP 4	Eixo Norte-Sul (IP7) - sentido N/S	Sim	Sim
EP 5	CRIL (IC 17) - sentido N/S	Sim	Sim
EP 6	CRIL (IC 17) - sentido S/N	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação.

#### **4.2.1.2 Contagens na rede de 2º e 3º nível**

Os dados de tráfego dos postos de contagem localizados na rede de 2º e 3º nível não foram fornecidos de modo contínuo ao longo do ano, pelo que apenas se dispõe de contagens para 7 meses do ano e em cada mês para a primeira semana, com 7 dias consecutivos de contagens. Na maior parte das zonas, os postos de contagem possuem dados na primeira semana dos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Maio, Julho, Setembro e Novembro do ano 2007. Exclui-se dos quadros a informação acerca do número de horas diárias recolhidas por cada posto de contagem porque na sua maioria todos os postos de contagem analisados dispõem de 24 horas seguidas contabilizadas em cada dia.

Nas Figuras 4.1 e 4.2 apresenta-se a distribuição espacial dos postos de contagem sobre a cidade de Lisboa localizados na rede de 2º nível e 3º nível, respectivamente.



**Figura 4.2 - Disposição geográfica dos postos de contagem na rede de 2º nível**



**Figura 4.3 - Disposição geográfica dos postos de contagem na rede de 3º nível**

- **Zona 1 – Praça do Comércio**

Na zona 1 que abrange a Praça do Comércio, dos quatro postos de contagem existentes, apenas se dispõe de dados relativos a 2 postos. Acrescem as seguintes particularidades:

- No CT 2 não existem dados referentes ao mês de Janeiro e os valores de tráfego mensal (ver ponto 4.3.3) para Setembro e Novembro não entram em consideração com dados de domingo,
- No CT 3 o tráfego médio diário mensal (ver ponto 4.3.3) para Novembro não entra em consideração com dados de sábado, uma vez que durante um intervalo longo de horas não existem dados.

**Quadro 4.3 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 1 (Praça do Comércio)**

<b>ZONA 1 - Praça do Comércio</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 1	Avenida Infante Dom Henrique para Praça do Comércio	N.D	N.D
CT 2	Avenida Ribeira das Naus para Praça do Comércio	Sim	Sim
CT 3	Rua do Ouro antes da Rua da Vitória	Sim	Sim
CT 4	Avenida Infante Dom Henrique para estação Santa Apolónia	N.D	N.D

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação.

- **Zona 2 – Restauradores**

A zona dos Restauradores possui 4 postos de contagem em funcionamento, a partir dos quais foram obtidos valores para os 7 meses indicados em 4.2.1. Nos Restauradores apenas se regista a exclusão da quinta-feira por falta de valores no CT 7 durante o cálculo do TMDM (ver ponto 4.3.3) referente ao mês de Julho.

**Quadro 4.4 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 2 (Restauradores)**

<b>ZONA 2 - Restauradores</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 5	Avenida da Liberdade para Restauradores	Sim	Sim
CT 6	Restauradores para Rossio	Sim	Sim
CT 7	Rua da Prata para Praça da Figueira	Sim	Sim
CT 8	Praça Dom Pedro IV para Restauradores	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação.

- **Zona 3 - Marquês de Pombal**

Na zona do Marquês de Pombal foram seleccionadas previamente 4 postos de contagem, uma vez que os restantes não possuíam contagens disponíveis.

**Quadro 4.5 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 3 (Marquês de Pombal)**

<b>ZONA 3 - Marquês de Pombal</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 9	Avenida Fontes Pereira Melo para Marquês de Pombal	N.D	N.D
CT 10	Av. Joaquim António Augusto Aguiar para Marquês de Pombal	N.D	N.D
CT 11	Avenida da Liberdade para Marquês de Pombal	Sim	Sim
CT 12	Rua Conde Redondo para Avenida da Liberdade	Sim	Sim
CT 13	Avenida Duarte Pacheco para Marquês de Pombal	N.D	N.D
CT 14	Avenida Álvares Cabral para Largo do Rato	Sim	Sim
CT 15	Rua Dom João V para Largo do Rato	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação.

- Zona 4 – Saldanha**

À semelhança da zona 3, a zona 4 apresenta os dados recolhidos para os 7 meses e em cada mês para os 7 dias consecutivos de uma semana.

**Quadro 4.6 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 4 (Saldanha)**

<b>ZONA 4 - Saldanha</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 16	Avenida Fontes Pereira Melo para Saldanha	Sim	Sim
CT 17	Avenida da República para Campo Pequeno	Sim	Sim
CT 18	Avenida Miguel Bombarda	N.D	N.D
CT 19	Avenida João Crisóstomo	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação.

- Zona 5 – Campo Pequeno**

Na zona 5 todos os postos de contagem apenas possuem valores para 5 meses, faltando o mês de Maio.

**Quadro 4.7 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 5 (Campo Pequeno)**

<b>ZONA 5 - Campo Pequeno</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 20	Faixa central da Av. da República para Campo Pequeno	Sim	F
CT 21	Faixa lateral da Av. da República para Campo Pequeno	Sim	F
CT 22	Avenida 5 de Outubro (N/S)	Sim	F
CT 23	Avenida Forças Armadas para Entrecampos	Sim	F
CT 24	Avenida E.U.A. para Entrecampos	Sim	F
CT 25	Avenida de Berna para Avenida da República	Sim	F

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação.



- **Zona 6 – Roma**

Nesta zona tem de se ter em consideração algumas falhas nos valores disponibilizados:

- No CT 26, CT 27 e CT 32 a medição efectuada à quinta-feira no mês de Fevereiro, entre as 00h e as 14h não possui valores.
- No CT 28 e CT 29 à quarta-feira no mês de Maio a contagem entre as 8h e as 13h não possui dados.

**Quadro 4.8 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 6 (Roma)**

<b>ZONA 6 - Roma</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 26	Avenida do Brasil para Avenida Gago Coutinho	Sim	Sim
CT 27	Avenida do Brasil para Cidade Universitária	Sim	Sim
CT 28	Avenida de Roma para Praça de Londres	Sim	Sim
CT 29	Avenida de Roma para Avenida do Brasil	Sim	Sim
CT 30	Avenida Gago Coutinho para Areeiro	Sim	Sim
CT 31	Avenida. Gago Coutinho para rotunda do Relógio	Sim	Sim
CT 32	Rua das Murtas para Avenida do Brasil	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação

- **Zona 7 – Areeiro**

Na zona do Areeiro existem falhas consideráveis na série de valores disponibilizados, nomeadamente:

- Todos os postos de contagem não dispõem valores para a quarta-feira do mês de Janeiro,
- O posto CT 39 não apresenta valores à terça-feira do mês de Fevereiro.
- O CT 37 não apresenta valores à segunda-feira do mês de Fevereiro.
- O CT 36 no mês de Maio apresenta valores bastante dispares em relação aos restantes meses e por isso não foi considerado.

**Quadro 4.9 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 7 (Areeiro)**

<b>ZONA 7 - Areeiro</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 33	Av. Roma para Pç. de Londres	Sim	Sim
CT 34	Av. João XXI para Campo Pequeno	Sim	Sim
CT 35	Av. Dr. António José de Almeida para Alameda	Sim	Sim
CT 36	Av. Manuel da Maia para Pç. de Londres	Sim	Sim
CT 37	Av. João XXI para Areeiro	Sim	Sim
CT 38	Av. Almirante Gago Coutinho para Areeiro	Sim	Sim
CT 39	Av. Almirante Reis para Alameda	Sim	Sim
CT 40	Av. Almirante Reis antes R. Ferreira da Silva	Sim	Sim
CT 41	Av. Almirante Reis depois Pç. João do Rio	Sim	Sim
CT 42	Av. João XXI para Areeiro	Sim	Sim
CT 43	Av. Almirante Gago Coutinho para aeroporto	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação

- Zona 8 – Alcântara**

Na zona de Alcântara apenas se tem de considerar o facto de o posto CT 48, nos dias de segunda, sexta, sábado e domingo do mês de Fevereiro não apresentar dados.

**Quadro 4.10 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 8 (Alcântara)**

<b>ZONA 8 - Alcântara</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 44	Avenida da Índia para Avenida 24 de Julho	Sim	Sim
CT 45	Avenida 24 de Julho para Santos	Sim	Sim
CT 46	Avenida 24 de Julho para Alcântara	Sim	Sim
CT 47	Avenida da Índia para Algés	Sim	Sim
CT 48	Avenida de Ceuta para Avenida da Índia	Sim	F
CT 49	Avenida de Ceuta para Alcântara	Sim	Sim
CT 50	Avenida de Ceuta para ponte depois inversão	Sim	Sim
CT 51	Avenida de Ceuta para Praça de Espanha	Sim	Sim
CT 52	Saída da ponte para rotunda de Alcântara	Sim	Sim

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação

- Zona 9 – Praça de Espanha**

Na zona 9 todos os postos de contagem não apresentam valores para os meses de Janeiro e Dezembro. No CT 55 entre as 01h e as 12h, na segunda-feira e no domingo do mês de Março não existem dados disponíveis.

**Quadro 4.11 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 9 (Praça de Espanha)**

<b>ZONA 9 - Praça de Espanha</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 53	Avenida António Augusto de Aguiar para Praça de Espanha	Sim	F
CT 54	Av. António Augusto de Aguiar para Av. Fontes Pereira Melo	Sim	F
CT 55	Rua Marquês de Fronteira <sup>19</sup>	Sim	F
CT 56	Avenida Calouste Gulbenkian para Praça de Espanha	Sim	F

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação

- Zona 10 – Parque das Nações**

Na zona do Parque das Nações, para os postos CT 61 e CT 62 não foram disponibilizados valores para o mês de Maio.

**Quadro 4.12 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 10 (Parque das Nações)**

<b>ZONA 10 - Parque das Nações</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 57	Saída do túnel da EN 10 para Avenida Infante Dom Henrique	Sim	Sim
CT 58	Avenida Infante Dom Henrique para o túnel de acesso à EN 10	Sim	Sim
CT 59	Avenida Infante Dom Henrique para túnel de acesso à EN 10	Sim	Sim
CT 60	Variante da EN 10 antes Praça José Queirós	Sim	F
CT 61	Rua Vasco da Gama para Avenida Alfredo Bensaúde	Sim	F
CT 62	Entrada em Lisboa vindo do Prior Velho	Sim	F

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação

- Zona 11 – Rotunda do aeroporto**

Na zona 11 apenas se destaca o facto de o CT 68 no mês de Janeiro não possuir valores para o dia de domingo e o CT 66 não possuir contagens para o mês de Novembro.

**Quadro 4.13 - Identificação dos postos de contagem e dados disponíveis na zona 11 (rotunda do aeroporto)**

<b>ZONA 11 - Rotunda do aeroporto</b>			
<b>Posto de contagem</b>	<b>Localização do posto de contagem</b>	<b>Dados disponíveis</b>	
		<b>7 dias</b>	<b>7 meses</b>
CT 63	Avenida. Infante Dom Henrique N/S	N.D	N.D
CT 64	Avenida Infante Dom Henrique S/N	N.D	N.D
CT 65	Av. Marechal Gomes Costa para Avenida. Infante Dom Henrique	Sim	Sim
CT 66	Túnel da Av. Marechal Gomes Costa para Av. Infante Dom Henrique	Sim	F
CT 67	Rotunda da Avenida Marechal Gomes Costa depois central	Sim	Sim
CT 68	Saída 2ª Circular (Nascente/Poente) para rotunda do Relógio	Sim	Sim
CT 69	Avenida Almirante Gago Coutinho para rotunda do Relógio	Sim	F

Nota: a simbologia adoptada: Sim - informação disponível, N.D – dados não disponíveis e F – falta de informação

<sup>19</sup> Medição no sentido da Av. António Augusto de Aguiar

#### 4.2.2 Agrupamento dos postos de contagem na cidade de Lisboa

De forma a proceder ao cálculo dos factores de ajustamento por rede hierárquica e número de vias por sentido foi necessário proceder ao agrupamento dos postos de contagem, à semelhança do que Bassan (2009) aborda no seu trabalho *A statistical practical methodology of statewide traffic pattern grouping and precision analysis*.

Neste processo foi necessário proceder à exclusão de alguns postos de contagem, por forma aos dados poderem conduzir a valores representativos do TMDA dos diversos grupos de estradas.

Na rede de 1º nível é possível obter o valor de TMDA médio para cada localização tendo por base os vários lanços monitorizados que cada estrada possui.

Nas redes de 2º e 3º nível foram excluídos os postos de contagem localizados em vias de transportes públicos ou colectivos (corredores *bus*) e aqueles que se situam em locais que contabilizam apenas parte do tráfego (CT 52 e CT 54). Adicionalmente optou-se por não se considerar os postos existentes na zona 1 – Praça do Comércio devido às alterações efectuadas nos últimos anos na circulação automóvel.

Com base nos volumes horários de tráfego obtidos para as 24h de 7 dias consecutivos e 7 meses, respectivamente, obteve-se o TMDA para todos os postos de contagem (equação 4.6)

$$TMDA_{posto,i} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

Em que  $D_i$  – volume de tráfego detectado na faixa de rodagem durante 24h do dia  $i$  e  $n$  – número de dias considerados.

No Quadro 4.14 apresentam-se os valores do TMDA mínimo, médio e máximo dos postos de contagem distribuídos consoante o seu nível na rede viária hierárquica e o número de vias por sentido. Uma vez que o agrupamento dos postos de contagem foi realizado apenas por estes dois critérios, considerou-se conveniente analisar a existência de tráfego atípico. Como forma de identificar os casos de exclusão foi definido o intervalo  $[0,60 \text{ TMDA}_{\text{grupo postos de contagem}}; 1,40 \text{ TMDA}_{\text{grupo postos de contagem}}]$  como aceitável, excluindo-se todos os postos de contagem fora desta gama. Os valores limite correspondentes ao intervalo de decisão são apresentados no Quadro 4.14.

**Quadro 4.14 - Valores de TMDA de cada grupo de postos de contagem e intervalos de decisão**

Nível da via	Número de vias por sentido	TMDA			Intervalo de decisão	
		Mínimo	Médio	Máximo	Inferior	Superior
1	3	37506	44128	66356	26477	61780
2	2	7724	17331	22867	10399	24264
	3	9184	22439	31793	13464	31415
3	1	3522	11449	16986	6869	16028
	2	4228	12881	20700	7729	18034

Nos quadros 4.15 e 4.16 são apresentados os agrupamentos e o respectivo processo de exclusão.

**Quadro 4.15 - Agrupamento dos postos de contagem da rede de 1º nível**

Zona	Localização	Nível da via	Número de vias	TMDA	Processo de decisão
Estradas de Portugal	EP 1	1º	3	66356	Excluir
	EP 2	1º	3	44385	Manter
	EP 3	1º	3	37667	Manter
	EP 4	1º	3	40127	Manter
	EP 5	1º	3	38729	Manter
	EP 6	1º	3	37506	Manter

**Quadro 4.16 - Agrupamento dos postos de contagem das redes de 2º e 3º nível**

<b>Zona</b>	<b>Posto de contagem (CT)</b>	<b>Nível da via</b>	<b>Número de vias</b>	<b>TMDA</b>	<b>Processo de decisão</b>
Restauradores	5	3º	1	13837	Manter
	6	3º	1	16986	Excluir
	7	3º	2	12793	Manter
	8	3º	2	15933	Manter
Marquês de Pombal	11	3º	2	12380	Manter
	12	3º	2	11242	Manter
	14	3º	2	15369	Manter
	15	3º	2	10290	Excluir
Saldanha	16	2º	2	21273	Manter
	17	2º	3	30341	Manter
	19	3º	2	9913	Manter
Campo Pequeno	20	2º	3	22950	Manter
	21	2º	2	7724	Excluir
	22	3º	2	20700	Excluir
	23	2º	2	16122	Manter
	24	2º	3	21629	Manter
	25	2º	3	17269	Manter
Roma	26	3º	2	9429	Manter
	27	3º	2	9794	Manter
	28	3º	2	12486	Manter
	29	3º	2	8897	Manter
	30	2º	2	16985	Manter
	31	2º	2	19633	Manter
	32	4º	2	10957	Excluir

**Quadro 4.16 - Agrupamento dos postos de contagem das redes de 2º e 3º nível - continuação**

<b>Zona</b>	<b>Posto de contagem (CT)</b>	<b>Nível da via</b>	<b>Número de vias</b>	<b>TMDA</b>	<b>Processo de decisão</b>
Areeiro	33	3º	2	14231	Manter
	34	2º	2	9603	Excluir
	35	3º	1	3522	Excluir
	36	3º	2	15713	Manter
	37	2º	2	6568	Excluir
	38	2º	2	19748	Manter
	39	3º	2	14386	Manter
	40	3º	2	16560	Manter
	41	3º	2	17519	Manter
	43	2º	2	22867	Manter
Alcântara	44	2º	2	19793	Manter
	45	2º	2	18655	Manter
	46	2º	3	25873	Manter
	47	2º	2	22198	Manter
	48	2º	3	9184	Excluir
	49	2º	3	14603	Manter
	50	2º	2	15091	Manter
	51	2º	3	28311	Manter
	52	2º	2	15559	Manter
Praça de Espanha	53	2º	2	16404	Manter
	55	3º	2	4228	Excluir
	56	2º	3	31793	Excluir
Parque das Nações	57	2º	2	22433	Manter
	58	2º	2	18777	Manter
	59	2º	N.D	6331	Excluir
	60	2º	N.D	9856	Excluir
	61	2º	N.D	5579	Excluir
	62	1º	N.D	9149	Excluir
Rotunda do aeroporto	65	2º	2	11916	Manter
	66	2º	2	14669	Manter
	67	2º	N.D	8955	Excluir
	68	2º	1	9166	Excluir
	69	2º	2	19843	Manter

*Nota: Uma vez que a localização exacta do posto de contagem CT 67 não é clara, optou-se por não apresentar este valor*

Após o processo de exclusão de postos de contagem, o cálculo dos factores de ajustamento foi efectuado considerando: 5 postos na rede de 1º nível, 24 postos pertencentes à rede de 2º nível, dos quais 17 localizam-se em estradas com 2 vias por sentido e 7 postos em estradas de 3 vias por sentido. Na análise da rede de 3º nível foram considerados 16 postos de contagem, sendo que apenas 1 está localizado numa estrada de 1 via por sentido e os restantes em estradas de 2 vias por sentido.

Com este processo de agrupamento dos postos de contagem resulta para cada grupo um novo valor de TMDA ( $TMDA_{referência}$ ), em função do nível na rede hierárquica viária e número de vias por sentido, como se apresenta no Quadro 4.17.

**Quadro 4.17 - TMDA de referência para cada grupo de postos de contagem**

<b>Grupo de postos de contagem</b>	<b>TMDA (referência)</b>
1º nível - 3 vias	39395
2º nível - 2 vias	18511
2º nível - 3 vias	22997
3º nível - 1 via	13837
3º nível - 2 vias	14298

### 4.3 Caracterização do tráfego

Neste subcapítulo apresenta-se a variação de tráfego médio de cada agrupamento de postos de contagem por nível hierárquico da rede e número de vias por sentido, nomeadamente: a variação horária ao longo do dia, a variação diária ao longo da semana e a variação mensal ao longo do ano. Os quadros complementares com os dados de tráfego úteis na realização deste trabalho são apresentados no Anexo I. Importa salientar que não foi realizada a análise da variação semanal ao longo do mês, pois apenas se dispunha de dados relativos à primeira semana de cada mês.

#### 4.3.1 Variação do tráfego horário

No presente subcapítulo apresenta-se a variação do tráfego ao longo do dia para cada grupo de postos de contagem em estudo (1º, 2º e 3º níveis). Cada valor de Tráfego Médio Horário  $TMH_x$  foi obtido através da equação 4.7.

$$TMH_x = \frac{\sum_{Y=1}^7 H_x}{7} \quad (\text{Eq. 4.7})$$



Em que  $TMH_X$  corresponde ao tráfego médio horário para uma determinada hora X e um dia da semana Y específico e  $H_x$  representa o volume de tráfego horário para a hora X. Nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 apresenta-se a variação horária média em estudo para os três níveis da rede viária hierárquica.

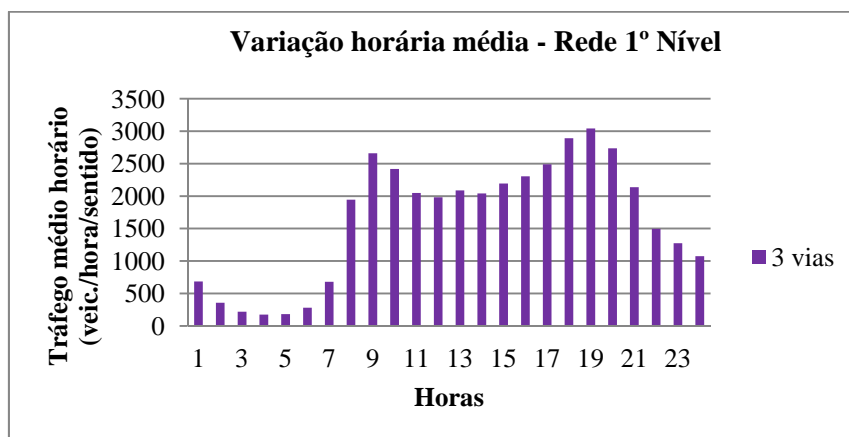


Figura 4.4 - Variação de tráfego médio horário na rede de 1º nível

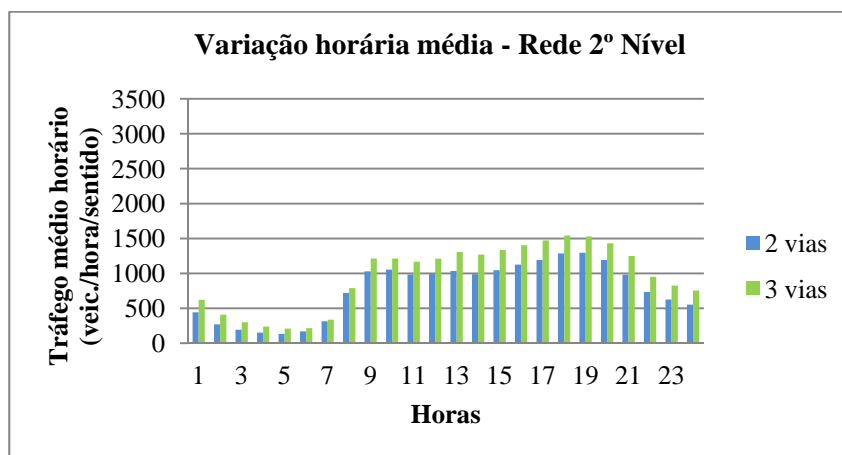


Figura 4.5 - Variação de tráfego médio horário na rede de 2º nível

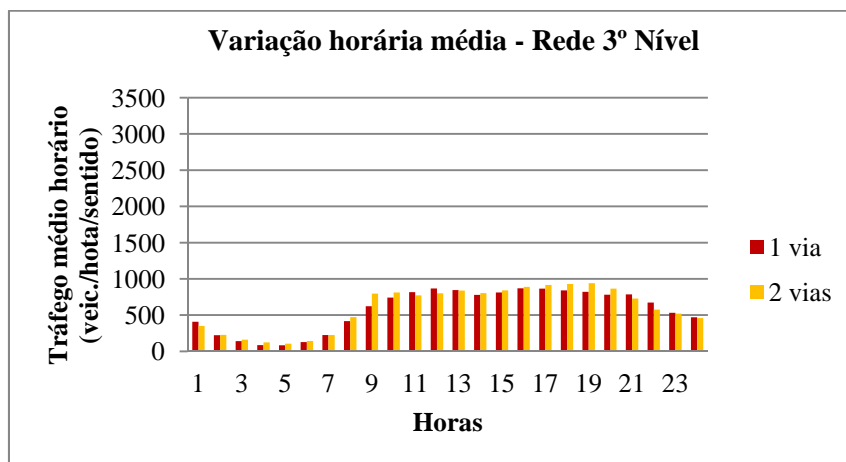


Figura 4.6 - Variação de tráfego médio horário na rede de 3º nível

### 4.3.2 Variação semanal de tráfego diário

Nesta secção apresenta-se a variação de tráfego médio diário ao longo da semana para cada grupo de postos de contagem em estudo. Cada valor de Tráfego Médio Diário  $TMD_Y$  para um dia da semana específico obtém-se a partir do conceito anterior, ou seja do somatório de todos os valores de Tráfegos Médios Horários do grupo de postos de contagem (Eq. 4.8).

$$TMD_Y = \sum_{X=1}^{24} TMH_X \quad (\text{Eq. 4.8})$$

Em que  $TMD_Y$  corresponde ao tráfego médio diário para o dia da semana Y e  $TMH_X$  corresponde ao tráfego médio horário para uma determinada hora X. Nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 pode observar-se a variação semanal do tráfego médio diário para os três níveis da rede hierárquica viária.

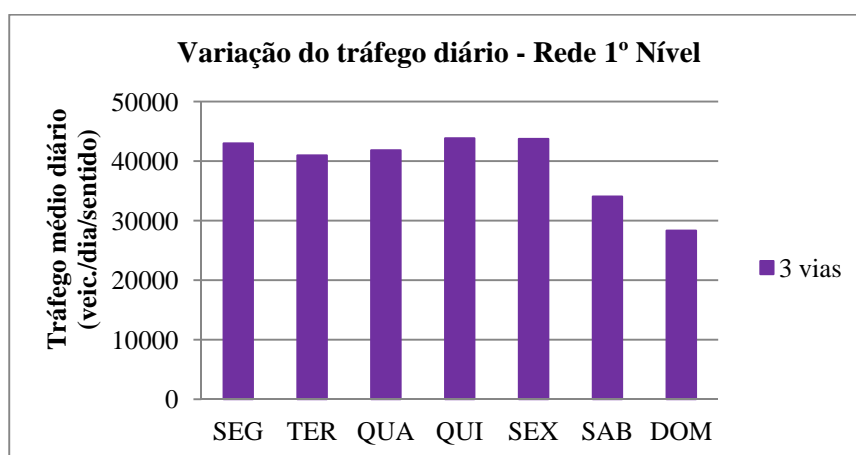


Figura 4.7 - Variação semanal do tráfego médio diário na rede de 1º nível

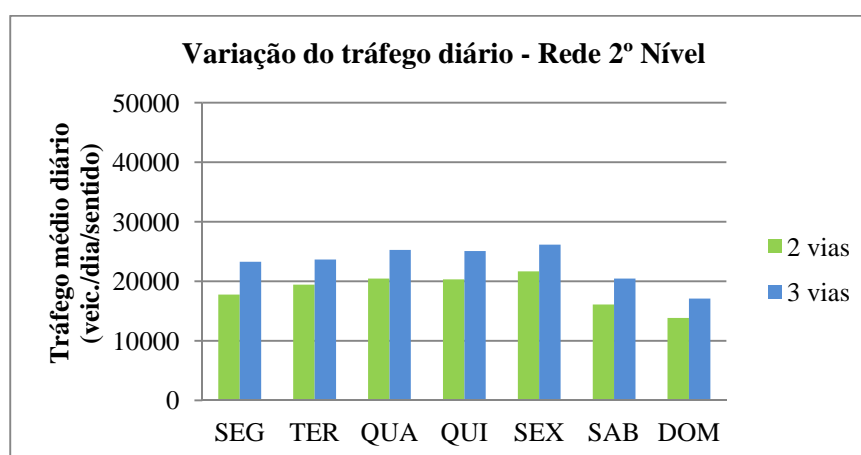


Figura 4.8 - Variação semanal do tráfego médio diário na rede de 2º nível

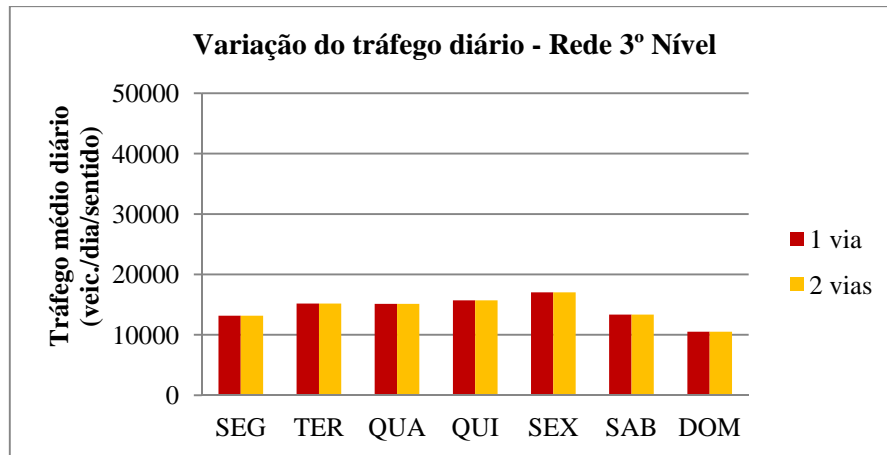


Figura 4.9 - Variação semanal do tráfego médio diário na rede de 3º nível

#### 4.3.3 Variação anual do tráfego mensal

Procede-se à caracterização da variação anual do tráfego recorrendo a duas fontes de informação, à plataforma SICIT para a rede de 1º nível e aos dados do sistema GERTRUDE para as redes de 2º e 3º nível. Uma vez que são analisados apenas valores para a primeira semana de cada mês assume-se que esses são os valores médios daquele mês, desta forma pode-se definir para cada grupo de postos de contagem o Tráfego Médio Diário Mensal ( $TMDM_Z$ ). Note-se que na rede de 1º nível é possível apresentar a variação real ao longo dos 12 meses sem recorrer à estimação do TMDM.

O valor de TMDM de um grupo de estradas consiste na média dos vários TMDM de cada posto de contagem individual (Eq. 4.9).

$$TMDM_Z = \frac{\sum_{Y=1}^n \frac{\sum_{X=1}^7 TMD_{XY}}{7}}{n} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Em que  $TMDM_Z$  representa o tráfego médio diário mensal do mês genérico Z,  $TMD_X$  corresponde ao tráfego médio diário para um determinado dia da semana X e n o número de postos de contagem pertencentes ao grupo em que se está a calcular o TMDM.

Nas redes de 2º e 3º nível este procedimento apenas pode ser adoptado caso o mês em que esteja a ser calculado o TMDM possua valores disponíveis, o que só acontece no presente trabalho em 7 meses do ano. Num mês sem dados optou-se por um cálculo médio por forma a obter uma estimativa para os 12 meses de um ano, como se apresenta na equação seguinte (Eq. 4.10). De uma forma geral, este cálculo é realizado para os meses de Abril, Junho e Maio.

$$TMDM_{estimado} = \frac{TMDM_{i-1} + TMDM_{i+1}}{2} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

Em que  $TMDM_{i-1}$  é o valor de TMDM do mês anterior em relação aquele que não possui dados e  $TMDM_{i+1}$  o valor de TMDM do mês seguinte ao qual se está a calcular. Nas situações em que existem mais de 2 meses consecutivos sem dados optou-se por adoptar o mesmo procedimento, à excepção dos casos em que esses meses sejam Dezembro e Janeiro, situação em que não foram estimados quaisquer valores.

Para todos os postos de contagem considerou-se a variação desagregada por nível na rede e número de vias (veja-se as Figuras 4.10, 4.11 e 4.12). Em ambas as figuras, os meses assinalados com (\*) comportam valores que foram estimados de acordo com a equação 4.10.

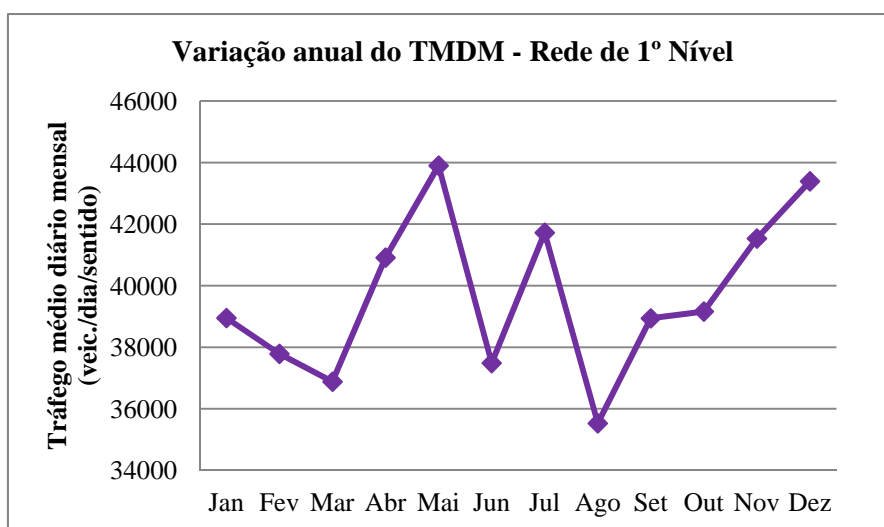


Figura 4.10 - Variação anual do TMDM para vias do 1º nível

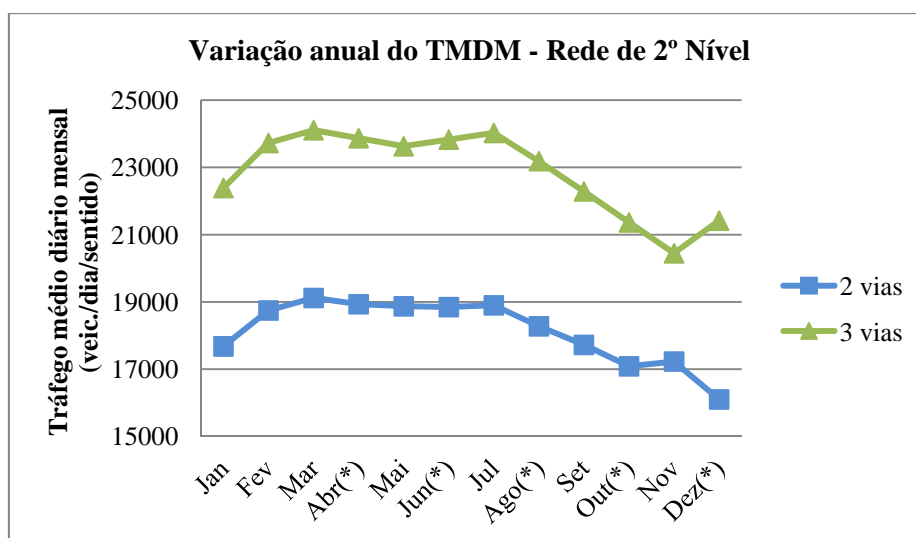
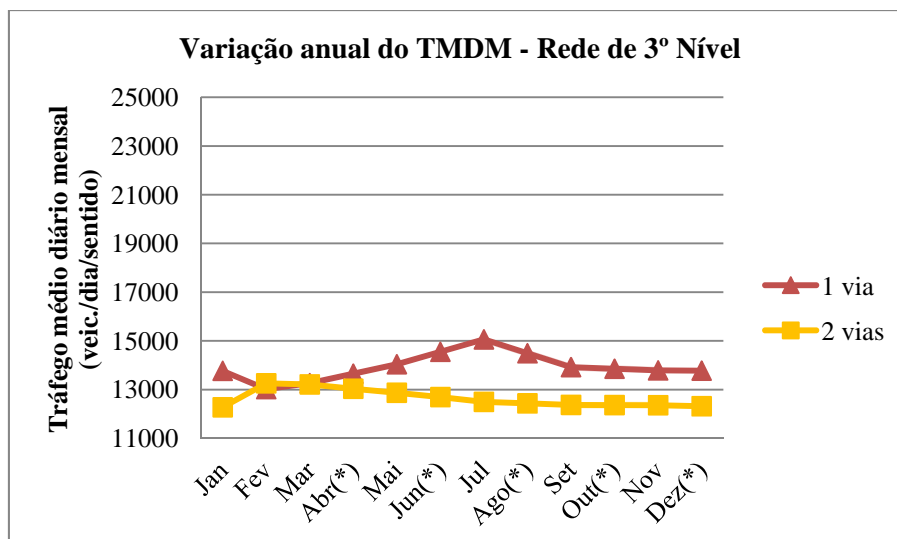


Figura 4.11 - Variação anual do TMDM para vias do 2º nível



**Figura 4.12 - Variação anual do TMDM para vias do 3º nível**

#### 4.3.4 Análise da variação do tráfego

Após a caracterização efectuada nos três níveis da rede viária hierárquica para a variação do tráfego médio horário identifica-se uma curva de variação do volume de veículos semelhante nos três níveis, com diferenças apenas ao nível do valor do volume. Evidencia-se um período de tráfego muito reduzido entre a 1h e as 7h e dois picos de tráfego nos períodos 8h-10h e 17h-20h. A rede de 1º nível apresenta nas horas de ponta um volume horário entre 2500 e 3000 veículos/sentido, enquanto num patamar inferior, a rede de 2º nível regista na hora de ponta da manhã valores horários compreendidos entre 1000 e 1200 veículos/sentido e no período da tarde valores entre 1200 e 1500 veículos/hora/sentido. Ao contrário das tendências observadas nos dois níveis anteriores da rede, as estradas pertencentes ao 3º nível apresentam entre as 9h e as 19h um padrão de tráfego semelhante, na ordem dos 900 veículos/sentido.

A distribuição de tráfego ao longo da semana é muito semelhante nos três níveis estudados, registando um decréscimo fora dos dias úteis. As estradas pertencentes à rede de 1º nível apresentam um TMD na ordem dos 40 000 veículos/dia/sentido, decrescendo para cerca de 27 000 veículos/dia/sentido no domingo. A rede de 2º nível apresenta um TMD na ordem dos 25 000 veículos/dia/sentido em estradas com 3 vias e um valor de 20 000 veículos/dia/sentido em estradas de 2 vias. Como seria expectável, estradas pertencentes à rede de 3º nível apresentam volumes de tráfego inferiores com valores de TMD próximos dos 15 000 veículos/dia/sentido. Pode-se afirmar que neste nível a análise das estradas com 1 via por sentido pode não traduzir o tráfego médio adequado, uma vez que a caracterização e o cálculo dos factores de ajustamento apenas tiveram em consideração dados de um posto de contagem.

Por último, após a observação da variação anual do TMDM nos três níveis, não se verifica um comportamento semelhante entre eles, registando-se na rede de 1º nível uma variação mensal mais acentuada do que nos restantes níveis. Uma explicação possível pode residir no facto de na rede de 1º nível ter-se trabalhado com dados referentes aos 12 meses do ano e nos restantes níveis existir uma estimativa de valores de TMDM para alguns meses (Abril, Junho, Agosto, Outubro e Dezembro).

#### 4.4 Estimação do TMDA para contagens de curta duração

Como já foi referido anteriormente, o custo das contagens pontuais de tráfego é uma condicionante importante na realização das mesmas. Na maioria dos casos é feita uma única contagem num dia do ano, normalmente durante o período diurno entre as 9h e as 18h. A extrapolação para o TMDA, de acordo com a metodologia proposta, é feita através da utilização de factores de ajustamento, calculados com base em contagens contínuas (ver Eq. 4.11).

$$TMDA_{estimado,i} = VOL_i * F_{M_j} * F_{D_j} * F_{H_j} \quad (\text{Eq. 4.11})$$

Em que  $VOL_i$  é o volume de tráfego medido em uma hora na localização  $i$ ,  $F_{M_j}$  é o factor de ajustamento mensal para o grupo de estradas  $j$ ,  $F_{D_j}$  é o factor de ajustamento diário para o grupo de estradas  $j$  e  $F_{H_j}$  é o factor de ajustamento horário médio para o grupo de estradas  $j$ .

De acordo com o enquadramento teórico apresentado em 4.1.2 pretende-se aplicar a metodologia a uma estrada que apresente características semelhantes com aquelas que servem de base ao cálculo dos factores. Não existe um número de horas fixo para a realização de contagens de tráfego, pelo que a sua definição depende da equipa que realiza o trabalho. Assim sendo optou-se por apresentar o caso em que o volume de tráfego recolhido é de uma hora e como tal pretende-se extrapolar para o dia todo, recorrendo a uma adaptação da equação 4.2.

##### 4.4.1 Factores de ajustamento horários

Devido à flutuação do tráfego ao longo de um dia torna-se necessário estabelecer um factor que permita corrigir o valor de TMDA de uma localização genérica  $i$  pertencente a um grupo de estradas  $j$ . Para tal definiu-se o factor horário médio ( $F_{H_j}$ ) para uma hora genérica ao longo do dia como:

$$F_{H_j} = \frac{\sum_{Y=1}^7 \frac{TMD_{dia Y}}{VOL_X * 24}}{7} \quad (\text{Eq. 4.12})$$

Em que  $TMD_{dia Y}$  corresponde ao Tráfego Médio Diário (TMD) para o dia da semana Y e  $VOL_X$  é o volume de tráfego na hora em que se está a calcular o factor.

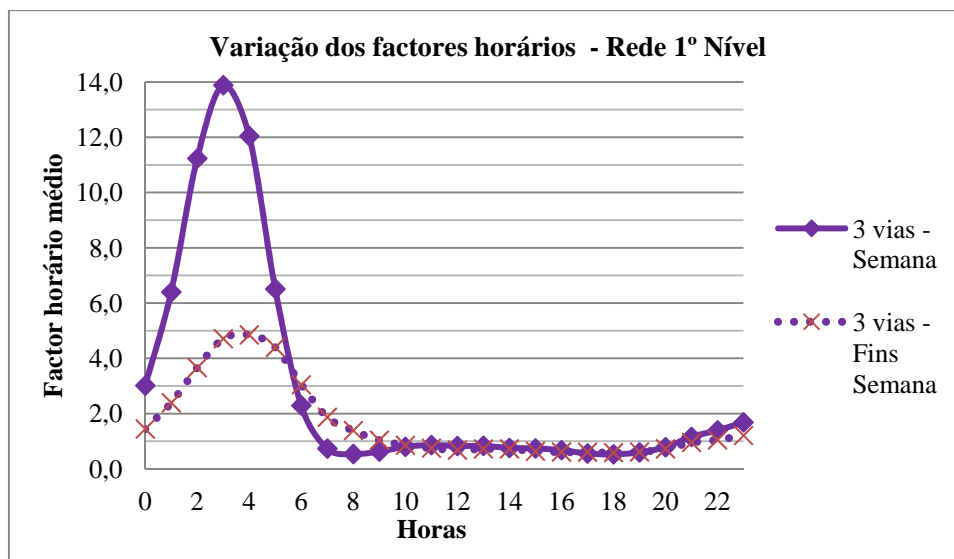
Apresenta-se de forma sucinta no Quadro 4.18 e Quadro 4.19 os factores de ajustamento horários médios considerando separadamente os dias úteis e os dias de sábado e domingo. De uma forma gráfica pode-se visualizar nas Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 a variação que ocorre ao longo do dia destes factores nas estradas pertencentes às redes de 1º, 2º e 3º níveis. No Anexo II apresentam-se os factores de ajustamento horários detalhados para todos os grupos de estradas consideradas.

**Quadro 4.18 - Factores de ajustamento horários médios para os dias úteis**

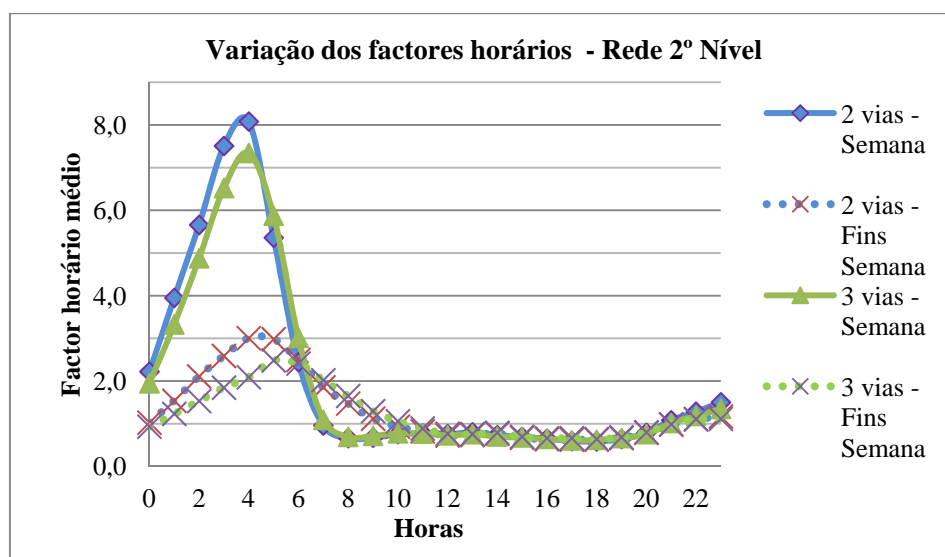
Grupo de postos de contagem	Factores horários médios - Dias úteis																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1º nível - 3 vias	3,0	6,4	11,2	13,9	12,0	6,5	2,3	0,7	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	1,2	1,4	1,7
2º nível - 2 vias	2,2	3,9	5,7	7,5	8,1	5,4	2,4	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5
2º nível - 3 vias	1,9	3,3	4,9	6,5	7,3	5,9	3,0	1,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
3º nível - 1 via	2,1	4,3	6,6	10,4	9,1	4,6	2,5	1,2	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1,1	1,4
3º nível - 2 vias	2,1	3,5	5,2	7,2	8,2	5,1	2,8	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,1	1,2	1,4

**Quadro 4.19 - Factores de ajustamento horários médios para o fim-de-semana**

Grupo de postos de contagem	Factores horários médios - Fim de semana																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1º nível - 3 vias	1,4	2,4	3,7	4,7	4,8	4,4	3,0	1,9	1,4	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	1,2
2º nível - 2 vias	1,0	1,5	2,1	2,6	3,0	3,0	2,5	1,9	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2
2º nível - 3 vias	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,4	2,0	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,1
3º nível - 1 via	0,7	1,2	2,0	3,4	4,1	4,3	3,0	2,2	1,7	1,2	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1
3º nível - 2 vias	1,0	1,5	2,0	2,4	3,0	2,9	2,3	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,1

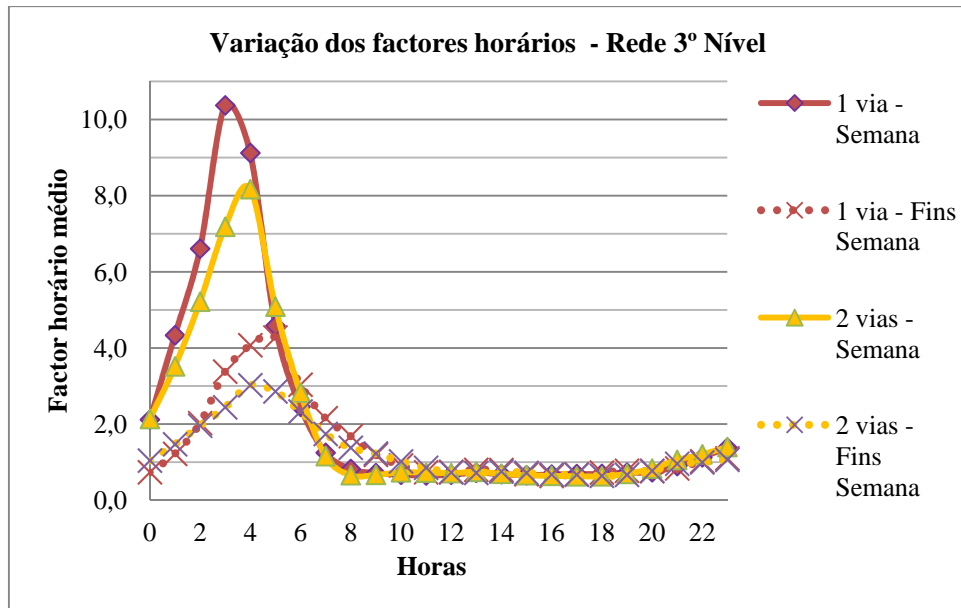


**Figura 4.13 - Variação dos factores de ajustamento horários para a rede de 1º nível**



**Figura 4.14 - Variação dos factores de ajustamento horários para a rede de 2º nível**





**Figura 4.15 - Variação dos factores de ajustamento horários para a rede de 3º nível**

#### 4.4.2 Factores de ajustamento diários

Na mesma linha de raciocínio do factor de ajustamento apresentado em 4.4.1, devido à flutuação do tráfego ao longo da semana é necessário estabelecer um factor que permita corrigir o valor de TMDA. O factor diário ( $F_{Dj}$ ) para um determinado grupo de estradas  $j$  pode ser calculado a partir da equação seguinte.

$$F_{Dj} = \frac{TMDA_{referência}}{TMD_Y} \quad (\text{Eq. 4.13})$$

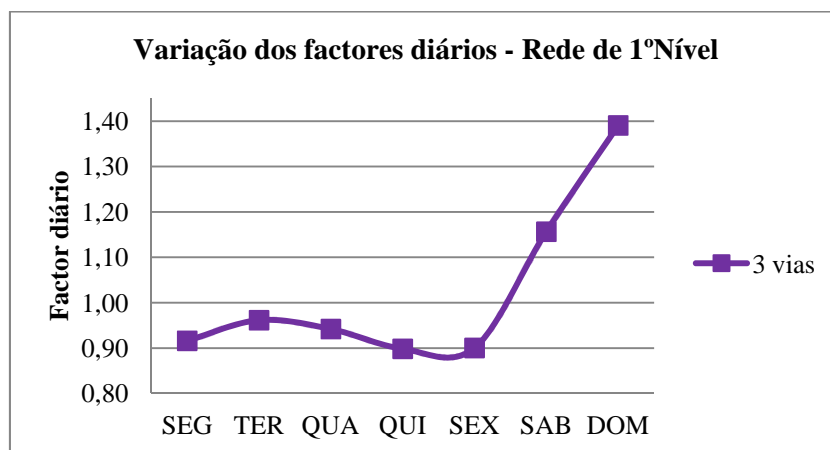
Em que  $TMDA_{referência}$  representa o Tráfego Médio Diário Anual considerado para o grupo de postos de contagem  $j$  e  $TMD_Y$  corresponde ao Tráfego Médio Diário (TMD) para o dia da semana genérico  $Y$ .

No Quadro 4.20 apresentam-se os factores de ajustamento diários para todos os grupos de estradas consideradas.

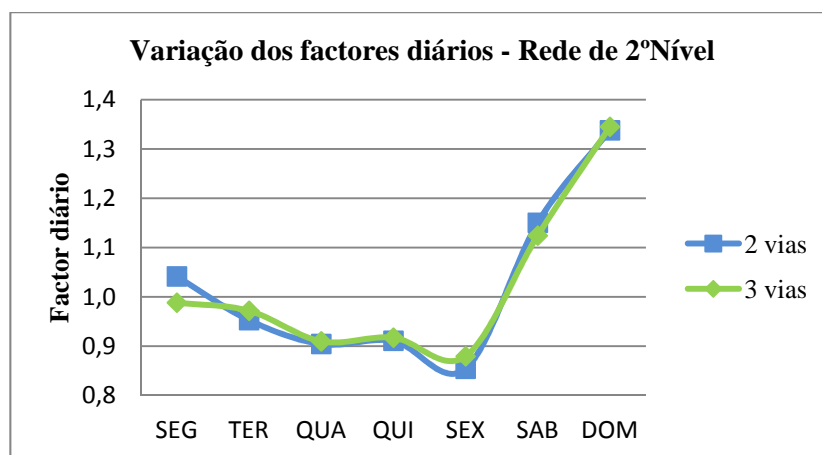
**Quadro 4.20- Factores de ajustamento diários**

Nível na rede/ Nº de vias	1º nível	2º nível		3º nível	
	3	2	3	1	2
SEG	0,92	1,04	0,99	1,01	1,09
TER	0,96	0,95	0,97	1,02	0,94
QUA	0,94	0,90	0,91	0,93	0,94
QUI	0,90	0,91	0,92	0,93	0,91
SEX	0,90	0,85	0,88	0,87	0,84
SAB	1,16	1,15	1,12	0,99	1,07
DOM	1,39	1,34	1,34	1,40	1,36

De uma forma gráfica as Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 mostram a variação que ocorre ao longo da semana destes factores nas estradas pertencentes às redes de 1º nível, 2º nível e 3º nível.



**Figura 4.16 - Variação dos factores de ajustamento diários na rede de 1º nível**



**Figura 4.17- Variação dos factores de ajustamento diários na rede de 2º nível**

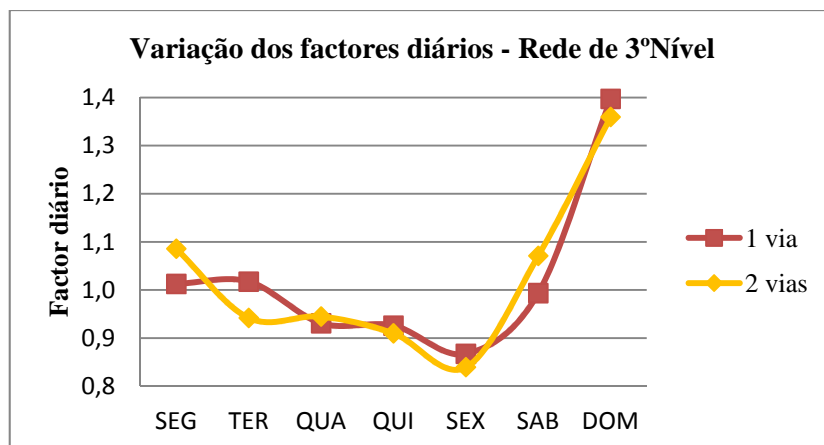


Figura 4.18 - Variação dos factores de ajustamento diários na rede de 3º nível

#### 4.4.3 Factores de ajustamento mensais

O último factor envolvido neste estudo é o factor de ajustamento mensal, associado à variação do TMDA ao longo dos 12 meses do ano. Desta forma, o factor de ajustamento mensal ( $F_{Mj}$ ) define-se como:

$$F_{Mj} = \frac{TMDA_{referência}}{TMDM_Z} \quad (\text{Eq. 4.14})$$

Em que  $TMDA_{referência}$  representa o Tráfego Médio Diário Anual para o grupo de postos de contagem  $j$  e  $TMDM_Z$  corresponde ao Tráfego Médio Diário Mensal para o mês genérico  $Z$  em que se está a calcular o factor.

No Quadro 4.21 apresentam-se os factores de ajustamento mensal para todos os grupos de estradas consideradas. Gráficamente as Figuras 4.19, 4.20 e 4.21 apresentam a variação que ocorre ao longo do ano destes factores nas estradas pertencentes aos três níveis hierárquicos da rede viária em estudo.

Quadro 4.21- Factores de ajustamento mensais para os três níveis da rede

Nível da rede	Nº de vias	Factores de ajustamento mensais											
		Jan	Fev	Mar	Abr(*)	Mai	Jun(*)	Jul	Ago(*)	Set	Out(*)	Nov	Dez(*)
1º	3	1,01	1,04	1,07	0,96	0,90	1,05	0,94	1,11	1,01	1,01	0,95	0,91
2º	2	1,05	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	1,01	1,04	1,08	1,07	1,15
	3	1,03	0,97	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,99	1,03	1,08	1,12	1,07
3º	1	1,01	1,06	1,04	1,01	0,99	0,95	0,92	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00
	2	1,16	1,08	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,16	1,16

Nota: meses com (\*) – valores estimados

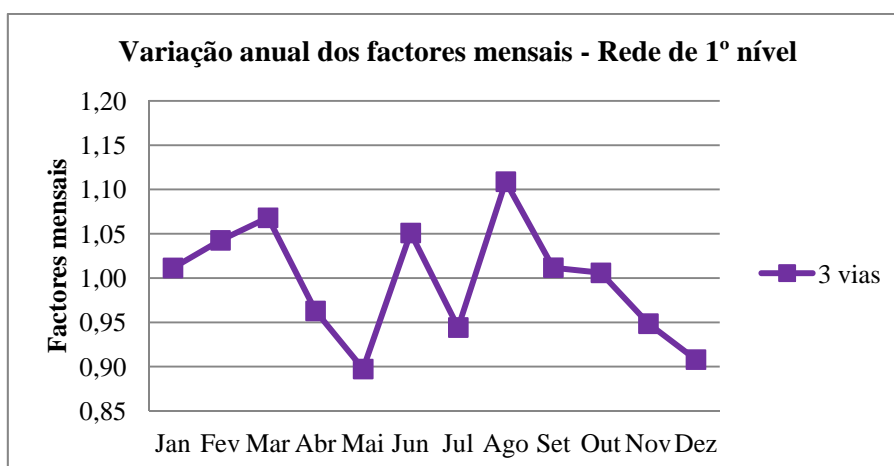


Figura 4.19 - Variação anual dos factores de ajustamento mensal na rede de 1º nível

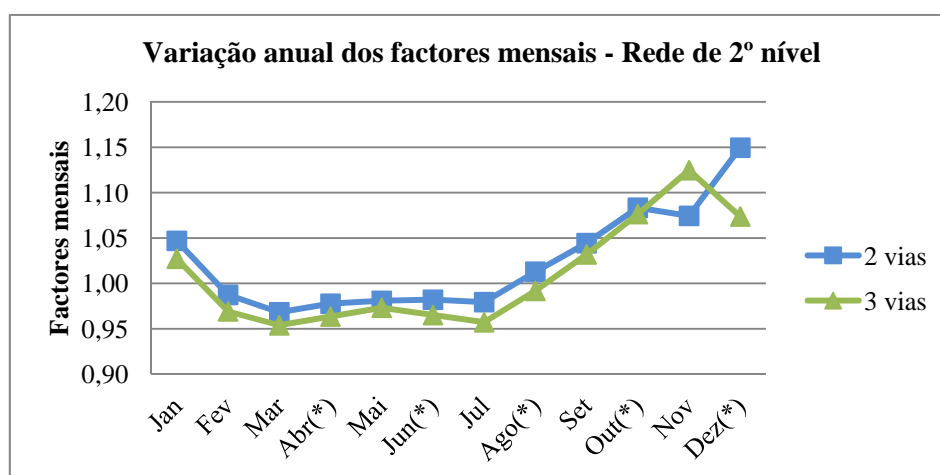


Figura 4.20 - Variação anual dos factores de ajustamento mensal na rede de 2º nível

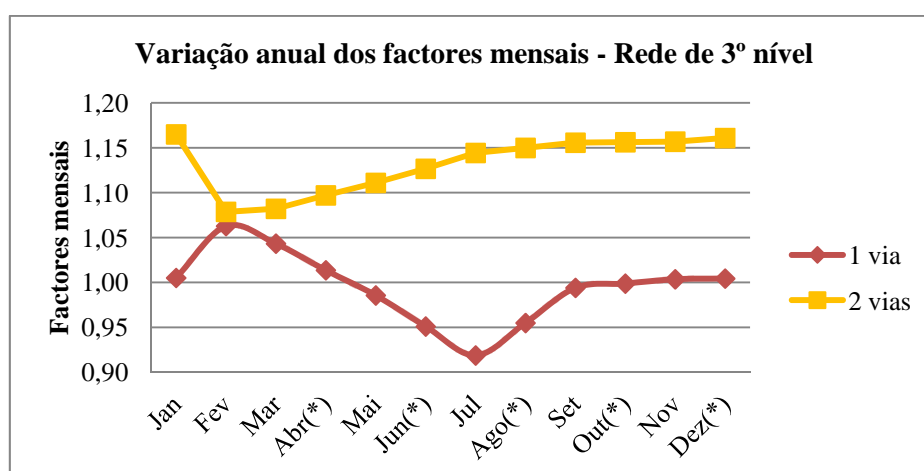


Figura 4.21 - Variação anual dos factores de ajustamento mensal na rede de 3º nível

#### **4.4.4 Análise da variação dos factores de ajustamento**

Após o cálculo efectuado observa-se que os factores de ajustamento calculados acompanham as variações de tráfego caracterizadas no subcapítulo 4.3. Ao nível horário, identifica-se um aumento do factor de ajustamento entre as 0h e as 3h e um decréscimo acentuado entre as 3h e as 7h para valores próximos da unidade. A ordem de grandeza é muito semelhante para os três níveis, registando-se apenas um valor superior na rede de 1º nível, no período entre as 0h e as 6h. Tal evidência deve-se ao facto de corrigir o TMDA, caso este seja calculado nos períodos com menor volume de tráfego, tendo as contagens que reflectir o comportamento do tráfego próximo do real.

No que se refere aos factores de ajustamento diários, a variação é semelhante para os três níveis em estudo. Entre segunda-feira e sexta-feira os factores oscilam entre 0,85 e 1,10, enquanto para os dias de sábado e domingo o ajustamento a aplicar sobe para 1,30 a 1,40. Na rede de 1º nível, a terça-feira e a quarta-feira revelam os factores próximos da unidade, enquanto na rede de 2º e 3º nível apresentam os mesmos valores à segunda e terça-feira. Estes resultados dão indícios de que estes dias serão preferenciais para a obtenção de valores de TMDA, pois estão mais próximos do valor de referência para o tipo de estrada em estudo, conduzindo a um erro menor. Na mesma linha de raciocínio, as contagens efectuadas ao sábado ou ao domingo estão mais afastadas do valor médio, pelo que o cálculo de TMDA, a partir de contagens efectuadas nesses dias tem de ser correctamente ajustado.

No que diz respeito aos factores de ajustamento mensais a variação ao longo dos meses nos três níveis é mais acentuada, não apresentando um comportamento semelhante nos diferentes casos. Este facto deriva da variação apresentada no subcapítulo 4.3, uma vez que também não se observa um comportamento semelhante no TMDM ao longo dos 12 meses do ano nos vários níveis hierárquicos. A partir dos gráficos da variação anual verifica-se que na rede de 1º nível os meses de Janeiro, Setembro e Outubro permitem obter valores de TMDA próximos do valor de referência, enquanto os factores nos meses de Maio e Agosto se desviam mais da unidade. Na rede de 2º nível os meses entre Fevereiro e Agosto apresentam os factores mais próximos da unidade. Por último, na rede de 3º nível apenas as estradas com uma via registam factores próximos da unidade, nos meses de Janeiro, Março, Abril, Maio, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro.

#### 4.5 Extensão da metodologia a contagens de duração variável

Nesta dissertação foi apresentado o cálculo do TMDA recorrendo a contagens de volume de tráfego em intervalos de uma hora e respectiva conversão utilizando factores de ajustamento horários, diários e mensais. No entanto, na prática, pode pretender-se efectuar numa determinada localização, contagens com duração superior a uma hora. Perante esta situação, os factores obtidos anteriormente deixam de ser válidos, apresentando-se neste ponto uma proposta para a estimação do TMDA nestes casos (Eq. 4.15).

$$TMDA_{estimado,n} = \frac{(\sum_{X=1}^n VOL_X) * 100}{\sum_{X=1}^n P_X} * F_{D_j} * F_{M_j} \quad (\text{Eq. 4.15})$$

Em que  $VOL_X$  corresponde ao volume de tráfego horário (na hora X),  $P_X$  refere-se à percentagem que a hora X representa no TMD (do dia em questão de determinado grupo de estradas) e  $n$  trata-se do número de horas recolhidas na contagem.

Para se compreender melhor a origem do termo  $P_X$  apresenta-se na equação seguinte a expressão de cálculo (Eq. 4.16). Note-se que o termo  $TMD_j$  refere-se ao Tráfego Médio Diário para o dia da semana em que se está a obter a referida percentagem.

$$P_X(\%) = \frac{VOL_X}{TMD_Y} * 100 \quad (\text{Eq. 4.16})$$

No Anexo III apresentam-se todas as percentagens de TMD para todos os níveis da rede estudados.

- **Exemplo de aplicação**

Por forma a clarificar o processo, procede-se à estimação do TMDA de uma estrada pertencente à rede de 2º nível com 2 vias por sentido. Considera-se a localização L2 (Avenida de Berlim – Início para SUL).

- 1) Escolha do período de contagem

Admite-se o período entre as 9h - 12h e as 12h - 18h com dados recolhidos a uma quarta e terça-feira, respectivamente. Neste exemplo vão ser calculados dois valores do TMDA distintos (um para cada período de contagem).

**Quadro 4.22- Volume de tráfego para exemplo de aplicação**

	Volume de tráfego - 2º nível e 2 vias por sentido								
Localização	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Av. de Berlim (Início para SUL)	803	714	756	478	338	894	862	894	971

2) Selecção dos valores de  $P_X$

	% horária do TMD em estradas de 2º nível e 2 vias por sentido																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,0	1,4	1,2	0,9	0,7	0,9	1,8	4,3	6,0	5,9	5,2	5,2	5,4	5,2	5,6	6,0	6,4	7,2	7,2	6,6	5,2	3,9	3,2	2,7
TER	1,7	0,9	0,6	0,5	0,5	0,7	1,7	4,4	6,4	6,3	5,6	5,6	5,7	5,4	5,8	6,2	6,6	7,3	7,3	6,5	5,1	3,6	3,1	2,6
QUA	1,6	0,9	0,6	0,4	0,4	0,8	1,9	4,6	6,7	6,5	5,7	5,5	5,6	5,2	5,7	6,0	6,3	6,9	7,2	6,6	5,3	3,8	3,2	2,6
QUI	2,1	1,1	0,7	0,6	0,5	0,8	1,6	4,2	6,3	6,3	5,6	5,4	5,5	5,1	5,7	6,0	6,4	7,0	7,1	6,5	5,4	3,9	3,3	2,8
SEX	2,0	1,1	0,7	0,5	0,5	0,7	1,6	4,4	6,3	6,2	5,4	5,3	5,5	5,2	5,7	6,0	6,4	6,9	6,8	6,3	5,6	4,2	3,5	3,3
SAB	3,9	2,5	1,8	1,4	1,3	1,3	1,7	2,6	3,6	4,6	5,1	5,5	6,0	6,0	5,6	6,1	6,3	6,3	6,2	5,9	5,2	4,0	3,5	3,7
DOM	4,3	3,0	2,2	1,8	1,5	1,5	1,7	2,0	2,3	3,1	4,0	4,7	5,5	5,4	5,3	6,4	6,8	7,0	7,2	6,7	5,4	4,5	4,2	3,4
Média	2,5	1,6	1,1	0,9	0,8	1,0	1,7	3,8	5,4	5,5	5,2	5,3	5,6	5,4	5,6	6,1	6,5	6,9	7,0	6,4	5,3	4,0	3,4	3,0

**Figura 4.22- Selecção das percentagens horárias do TMD para o exemplo de aplicação**

3) Aplicação da equação (Eq. 4.15) para o cálculo do TMDA (veículos/dia/sentido)

$$TMDA_{estimado,L2,a} = \frac{(803 + 714 + 756)}{(6,5 + 5,7 + 5,5)} * 100 * 0,90 * 0,98 = 11373 \quad (\text{Eq. 4.17})$$

$$TMDA_{estimado,L2,b} = \frac{(478 + 338 + 894 + 862 + 894 + 971)}{(5,7 + 5,4 + 5,8 + 6,2 + 6,6 + 7,3)} * 100 * 0,95 * 0,98 = 11225 \quad (\text{Eq. 4.18})$$

4) Variação em relação ao TMDA do posto de contagem

Por último apresenta-se o cálculo da variação existente entre os valores do TMDA estimados acima e o valor do TMDA estimado pelo LNEC para a mesma localização (ver Quadro 4.25).

$$\text{Variação entre TMDA (\%)} - \text{caso a} = \frac{|11373 - 11901|}{11901} * 100 = 4,4 \% \quad (\text{Eq. 4.19})$$

$$\text{Variação entre TMDA (\%)} - \text{caso b} = \frac{|11225 - 11901|}{11901} * 100 = 5,7 \% \quad (\text{Eq. 4.20})$$

No desenvolvimento de trabalhos futuros pode ser abordado este método e validá-lo nos três níveis da rede viária.

## 4.6 Aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais

Neste subcapítulo é apresentada a aplicação da metodologia proposta a contagens de tráfego reais, com o objectivo de determinar o TMDA de diversos locais.

Os dados de tráfego utilizados foram disponibilizados pelo Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança (NPTS) do Departamento de Transportes do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo sido recolhidos em 2008, no âmbito da tese de doutoramento de Vieira Gomes, (2010) e inserido no projecto de investigação IRUMS (Vieira Gomes et. al, 2011 a; Vieira Gomes, et. al, 2011 b). Foram caracterizados diversos segmentos e intersecções na cidade de Lisboa, pertencentes ao 2º e 3º níveis da rede viária hierárquica da cidade.

A aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais ficou condicionada a estes níveis (2º e 3º), dada a ausência de dados de tráfego em vias pertencentes ao 1º nível hierárquico. Foram seleccionados 10 segmentos para a análise proposta. No Quadro 4.23 apresenta-se a localização dos postos de contagem considerados, o nível que ocupam na rede e o correspondente TMDA de referência (ver Quadro 4.17).

**Quadro 4.23 - Postos de contagem utilizados na aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais**

Posto de contagem LNEC	Designação	Localização na rede	TMDA referência
Av. de Berlim (sentido SUL)	L1	2º nível - 2 vias	18511
Av. de Berlim (Início para SUL)	L2	2º nível - 2 vias	18511
Av. Dom Carlos I (sentido São Bento)	L3	3º nível - 1 via	13837
Av. Dom Carlos I (sentido Av.24 de Julho)	L4	3º nível - 1 via	13837
Av. Cidade de Luanda (sentido rotunda)	L5	3º nível - 2 vias	14298
Av. Cidade de Luanda (sentido Olaias)	L6	3º nível - 2 vias	14298
Av. 5 de Outubro (sentido Campo Grande)	L7	3º nível - 2 vias	14298
Av. 5 de Outubro (sentido Av. de Berna)	L8	3º nível - 2 vias	14298
R. Alexandre Herculano (sentido Rato)	L9	3º nível - 2 vias	14298
Av. Duque de Loulé (sentido Praça)	L10	3º nível - 2 vias	14298

A primeira análise a efectuar refere-se à diferença entre o valor de TMDA estimado pelo NPTS ( $TMDA_{LNEC}$ ) e o TMDA estimado com base na aplicação dos factores de ajustamento através da extensão da metodologia apresentada em 4.5 ( $TMDA_{Brito}$ ).

Os dados fornecidos pelo LNEC referem-se a volumes de tráfego recolhidos durante nove horas em dois períodos de contagens de tráfego distintos, e em dias diferentes. Os dados do primeiro



período entre as 9 e as 12 horas foram recolhidos num dia da semana diferente do segundo período entre as 12 e as 18 horas.

A estimativa do  $TMDA_{LNEC}$  foi efectuada considerando uma conversão das 9 horas de contagem para as 24h com base num factor multiplicativo, obtido a partir de uma contagem de 24 horas (efectuado em apenas um dos locais analisados).

O  $TMDA_{Brito}$  foi estimado de acordo com a metodologia proposta neste trabalho, a partir da equação 4.15, com a particularidade de que é o valor médio entre dois valores de TMDA, uma vez que as contagens não foram efectuadas no mesmo dia.

**Quadro 4.24 - Aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais e estimação do  $TMDA_{Brito}$**

	Volumes de tráfego do LNEC e aplicação da metodologia										
Posto de contagem	ΣVOL (1)	ΣVOL (2)	ΣPi (%) (1)	ΣPi (%) (2)	Factor				TMDA (1)	TMDA (2)	TMDA Brito
					F <sub>D</sub> (1)	F <sub>D</sub> (2)	F <sub>M</sub> (1)	F <sub>M</sub> (2)			
L1	3383	7176	17,7	37,0	0,90	0,95	0,98	0,98	16929	18161	17545
L2	2273	4436	17,7	37,0	0,90	0,95	0,98	0,98	11373	11225	11299
L3	1309	2251	18,6	36,1	1,02	0,93	0,95	0,99	6802	5711	6256
L4	987	1744	18,6	36,1	1,02	0,93	0,95	1,11	5129	4961	5045
L5	1595	2621	18,0	37,4	0,94	0,91	1,16	1,15	9621	7344	8482
L6	1944	2760	18,0	37,4	0,94	0,91	1,16	1,15	11724	7732	9728
L7	2422	2760	18,8	37,4	0,94	0,91	1,14	1,11	13932	7470	10701
L8	1900	3719	18,8	36,1	0,94	0,91	1,14	1,11	10928	10423	10675
L9	2490	5206	18,8	37,5	0,94	0,94	1,16	1,16	14474	15130	14802
L10	2896	6215	17,8	37,5	0,91	0,94	1,14	1,14	16947	17875	17411

NOTAS: (1) Período das 9h-12h<sup>20</sup>, (2) Período das 12h-18h<sup>21</sup>

No Quadro 4.25 apresentam-se os valores de ambas as estimativas, bem como a variação entre o  $TMDA_{LNEC}$  e o  $TMDA_{Brito}$ , calculada através da equação 4.21.

$$\% \text{Variação}_i = \frac{|TMDA_{LNEC} - TMDA_{Brito}|}{TMDA_{LNEC}} * 100 \quad (\text{Eq. 4.21})$$

<sup>20</sup> Nos postos de contagem L3, L4, L5 e L5 o dia foi a terça-feira; nos postos L1,L2, L7 e L8 o dia foi a quarta-feira e no posto L10 foi na quinta-feira.

<sup>21</sup> Nos postos de contagem L1,L2,L9 e L10 os dados foram obtidos na terça-feira e nos postos L3,L4,L5,L6,L7 e L8 foi na quinta-feira.

**Quadro 4.25- Variação entre o  $TMDA_{LNEC}$  e o  $TMDA_{Brito}$**

Posto de contagem	Dados LNEC			Metodologia Brito	
	Volume de tráfego 9h	Factor de conversão	$TMDA_{LNEC}$	$TMDA_{Brito}$	Variação (%)
L1	10559	1,774	18733	17545	6,8
L2	6708		11901	11299	5,3
L3	3567		6329	6256	1,2
L4	3238		5744	5045	13,9
L5	4216		7480	8482	11,8
L6	4704		8345	9728	14,2
L7	7849		13925	10701	30,1
L8	5618		9967	10675	6,6
L9	7696		13654	14802	7,8
L10	9111		16164	17411	7,2

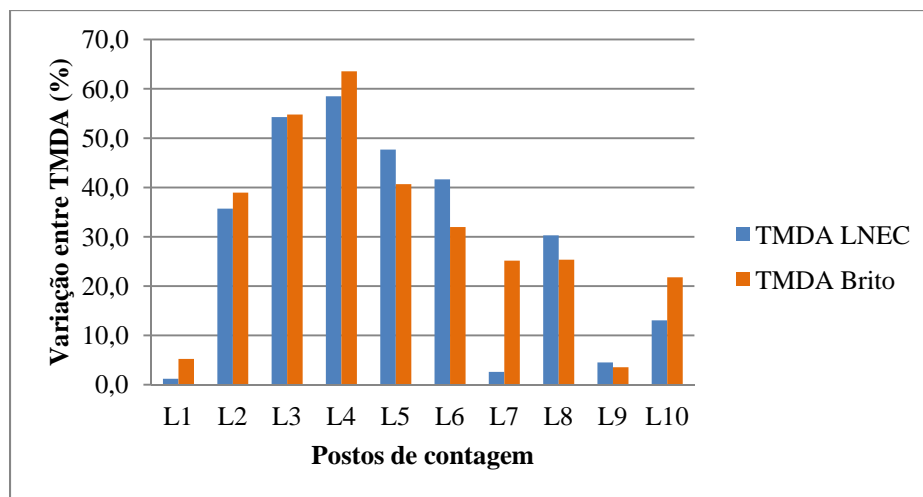
A partir do quadro acima verifica-se que os valores de  $TMDA_{Brito}$  apresentam uma diferença média de cerca 10% em relação aos valores de  $TMDA_{LNEC}$ , permitindo concluir que a utilização de mais factores de conversão pode levar a uma melhor estimativa do TMDA de uma localização.

A metodologia proposta neste trabalho assenta no cálculo de factores de ajustamento através de uma amostra muito maior do que a que foi utilizada pelo LNEC, o que permite afirmar que a robustez dos resultados obtidos é substancialmente maior. Desta forma pode-se concluir que a utilização dos factores de conversão apresentados neste trabalho permite a obtenção de uma melhor estimativa do TMDA para a cidade de Lisboa.

Uma vez que no âmbito deste trabalho foram também calculados TMDA de referência, desagregados por nível hierárquico da rede e número de vias por sentido (ver Quadro 4.17), considerou-se conveniente comparar os dados obtidos a partir das duas metodologias acima referidas, com os valores de referência ( $TMDA_{referência}$ ).

Na Figura 4.23 apresentam-se as respectivas variações calculadas pela equação 4.22. O TMDA estimado refere-se ao  $TMDA_{LNEC}$  ou  $TMDA_{Brito}$ .

$$Variação entre TMDA (\%) = \frac{|TMDA_{referência} - TMDA_{estimado}|}{TMDA_{referência}} * 100 \quad (\text{Eq. 4.22})$$



**Figura 4.23 - Variação entre o TMDA de referência e os TMDA estimados (LNEC e Brito)**

Através da análise do gráfico anterior pode-se observar que os postos de contagem L3 e L4 são os que apresentam o maior desvio de TMDA em relação ao valor de referência. Esta situação pode dever-se ao facto de o valor de referência da rede de 3º nível e 1 via por sentido ter sido obtido apenas por um posto de contagem do sistema GERTRUDE. Por forma a diminuir as variações registadas é recomendável aumentar o número de dados que estão na base dos valores de TMDA de referência. Relativamente aos restantes locais, constata-se diferenças inferiores, mas que ainda assim podem ser consideradas elevadas, pelo que os valores de TMDA de referência devem ser utilizados com parcimónia. Sempre que possível, é aconselhável a realização de contagens de tráfego, mesmo que de curta duração, para evitar desfasamentos exagerados do valor de TMDA.



## **5 Conclusões e Desenvolvimentos futuros**

### **5.1 Conclusões e observações ao trabalho desenvolvido**

Na presente dissertação expõem-se os meios técnicos existentes para a recolha de informação de tráfego, dados que permitem diversos estudos na área dos transportes. Não se indica que um equipamento deva ser utilizado face a outro porque a escolha de cada tipo de material depende do uso que lhe é destinado, as condições do ambiente em que é utilizado e a duração das actividades de recolha de dados de tráfego.

Na segunda etapa deste trabalho apresenta-se uma metodologia de estimação do Tráfego Médio Diário Anual para a cidade de Lisboa. A diversidade da rede viária hierarquizada permitiu o estudo deste parâmetro de tráfego (TMDA) em três níveis, tendo em consideração o número de vias por sentido, a partir de duas fontes de dados (plataforma SICIT da Estradas de Portugal, S.A e do sistema GERTRUDE da C.M.L). O estudo envolveu o agrupamento dos postos de contagem disponibilizados pelas fontes referidas com base em dois critérios (nível hierárquico da via e número de vias por sentido). Estabeleceram-se os valores de TMDA médio dos postos de contagem distribuídos consoante o seu nível na rede viária hierárquica e o número de vias por sentido. Foi também analisada a existência de valores de tráfego atípicos, os quais foram excluídos da análise.

Na exploração dos dados de base foi efectuada uma caracterização do tráfego médio nos três níveis da rede viária hierárquica. Constatou-se que a curva de variação do volume de veículos é semelhante nos três níveis, registando-se um período de tráfego muito reduzido entre a 1h e as 7h e picos de tráfego nos períodos 8h-10h e 17h-20h. A rede de 1º nível apresenta nas horas de ponta um volume horário entre 2500 e 3000 veículos/sentido. Num patamar inferior, a rede de 2º nível regista na hora de ponta da manhã valores compreendidos entre 1000 e 1200 veículos/hora/sentido e no período da tarde valores entre 1200 e 1500 veículos/hora/sentido. Ao contrário das tendências observadas nos dois níveis anteriores da rede, as estradas pertencentes ao 3º nível apresentam entre as 9h e as 19h um padrão de tráfego semelhante, na ordem dos 900 veículos/hora/sentido.

A distribuição do tráfego ao longo da semana é muito semelhante nos três níveis na rede viária hierárquica estudada observando-se um decréscimo fora dos dias úteis. As estradas pertencentes à rede de 1º nível apresentam um TMD na ordem dos 40 000 veículos/dia/sentido, decrescendo para cerca de 27 000 veículos/dia/sentido no domingo. Na rede de 2º nível tem-se um TMD na ordem dos 25 000 veículos/dia/sentido em estradas com 3 vias e um valor de 20 000 veículos/dia/sentido em estradas de 2 vias. Por fim, as estradas pertencentes à rede de 3º nível apresentam valores de TMD próximos dos

15 000 veículos/dia/sentido. É, no entanto, necessário alguma parcimónia na utilização dos valores deste nível hierárquico, uma vez que a caracterização e o cálculo dos factores de ajustamento apenas tiveram em consideração um posto de contagem.

A segunda parte deste trabalho centrou-se no desenvolvimento de factores de ajustamento para estimação do TMDA em estradas com características semelhantes entre si, ou seja, se factores calculados para estradas pertencentes à rede de um determinado nível, apenas devem ser aplicados na estimativa do TMDA em estradas classificadas nessa hierarquia. Analisando as Figuras apresentadas no ponto 4.4 verifica-se que os factores de ajustamento calculados acompanham as variações de tráfego acima mencionadas. Ao nível horário, observa-se um aumento do factor de ajustamento entre as 0h e as 3h e um decréscimo acentuado entre as 3h e as 7h para valores próximos da unidade. A ordem de grandeza é muito semelhante para os três níveis, registando-se apenas um valor superior na rede de 1º nível, no período entre as 0h e as 6h. No que se refere aos factores de ajustamento diários, a variação é semelhante para os três níveis em estudo. Entre segunda-feira e sexta-feira os factores oscilam entre 0,85 e 1,10, enquanto para os dias de sábado e domingo o ajustamento a aplicar sobe para 1,30 a 1,40. Relativamente aos factores de ajustamento mensais, a variação ao longo dos meses nos três níveis é mais acentuada, não apresentando um comportamento semelhante nos três níveis da rede.

Foi efectuada a aplicação da metodologia a contagens de tráfego reais, que permitiu constatar uma diferença de cerca de 10% entre os valores de TMDA estimados no estudo do LNEC e os valores de TMDA estimados de acordo com a metodologia proposta neste trabalho. Uma vez que neste ultimo caso, o cálculo de factores de ajustamento foi feito através de uma amostra muito maior do que a que foi utilizada pelo LNEC, pode-se afirmar que a robustez dos resultados obtidos é substancialmente maior. Desta forma pode-se concluir que a utilização dos factores de conversão apresentados neste trabalho permite a obtenção de uma melhor estimativa do TMDA para a cidade de Lisboa.

Os valores de TMDA de referência devem ser utilizados com parcimónia, uma vez que foi constatada uma elevada variabilidade do tráfego da rede, mesmo dentro de cada nível hierárquico. Sempre que possível, é aconselhável a realização de contagens de tráfego, mesmo que de curta duração, para melhorar a estimativa do valor de TMDA.

## **5.2 Desenvolvimentos futuros**

Após a realização da presente dissertação e por forma a melhorar a metodologia apresentada deixam-se um conjunto de estudos que podem tornar-se relevantes desenvolver.

Para aperfeiçoar a metodologia considera-se necessário aumentar a dimensão da amostra de dados de tráfego, uma vez que contribui para aumentar a robustez dos resultados. Isto implica não só um maior número de locais, como também a utilização de séries de contagens mais completas (horárias, diárias, semanais, mensais e anuais). Considera-se ainda relevante aplicar técnicas de análise estatística e estudo de valores característicos, uma vez que no presente estudo apenas se teve em consideração valores médios.

No seguimento do estudo realizado neste trabalho considera-se pertinente tentar desenvolver factores com uma maior desagregação por nível hierárquico, tendo em consideração outras características físicas da rede. Isto poderá melhorar a estimativa do TMDA, reduzindo o efeito da variabilidade do tráfego. Estender as localizações à rede de 4º nível, é também desejável, completando assim o universo de dados relativos à rede viária de Lisboa.

Este trabalho pode ainda ser complementado com o estudo da influência do tráfego pesado na estimação de TMDA e o cálculo dos respectivos factores de ajustamento por eixos.

Por fim, pode-se averiguar se existe alguma correlação entre o tráfego de vários centros urbanos e para tal generalizar a aplicação da metodologia a outras cidades.

Sugere-se ainda a extrapolação da metodologia para os estudos envolvendo o tráfego pedonal, já que a informação sobre a exposição destes utentes é ainda escassa.





## Referências Bibliográficas

- AASHTO. (2009). *AASHTO Guidelines for Traffic Data Programs*. United States: AASHTO.
- AIM. (s.d.). *What is RFID?* Obtido em 7 de Março de 2012, de Association of Automatic Identification and Mobility: [http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/what\\_is\\_rfid.asp](http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/what_is_rfid.asp)
- Andrade, M. N. (2000). *Métodos e Técnicas de Recolha de Dados de Tráfego - Algoritmo para a definição da matriz origem/destino*. Porto: FEUP.
- Baltazar, S. C. (2010). *Mapas Bioclimáticos de Lisboa*. Lisboa: Instituto de Geografia e Ordenamento do Território - UL.
- Bassan, S. (2009). A Statistical practical methodology of statewide traffic pattern grouping and precision analysis. (N. R. Press, Ed.) *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36, 427-438.
- Brusamarello, V. (2009). *Termômetros de Radiação*. Obtido em 1 de Março de 2012, de Disciplina de Projeto e Análise de Dados Experimentais: [http://www.chasqueweb.ufrgs.br/~valner.brusamarello/inst/aula\\_07.pdf](http://www.chasqueweb.ufrgs.br/~valner.brusamarello/inst/aula_07.pdf)
- CEPSRM. (s.d.). *Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto*. Obtido em 1 de Março de 2012, de Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia: <http://www6.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>
- César Cassiolato; SMAR. (2010). *Medição de pressão: Características, Tecnologias e Tendências*. Obtido em 22 de Fevereiro de 2012, de SMAR: <http://www.smar.com/brasil2/shownews.asp?Id=723>
- CML. (2005). *Lisboa: o desafio da mobilidade*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.
- CML. (2007). *Lisboa Iluminada - Séc. XVIII (Walter Rossa)*. Obtido em 26 de Março de 2012, de D.João VI no Rio 1808-2008: [http://lisboario200anos.cm-lisboa.pt/index.php?id=4138&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=997&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=4137&cHash=d376a1aa3c](http://lisboario200anos.cm-lisboa.pt/index.php?id=4138&tx_ttnews%5Btt_news%5D=997&tx_ttnews%5BbackPid%5D=4137&cHash=d376a1aa3c)
- CML. (2010). *Relatório síntese de Caracterização Biofísica de Lisboa no âmbito da Revisão do Plano Director Municipal de Lisboa*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.
- CML. (s.d.). *História da cidade de Lisboa*. Obtido em 26 de Março de 2012, de Departamento de turismo da C.M. Lisboa: <http://www.lisboa-cidade.com/lx/index99pt.asp?pa=ptihist.htm>

- Crabtree, J. (Volume 59 de 1995). Advantage I-75 Prepares to Cut Ribbon on Electronic Clearance. *Public Roads Magazine*.
- Cunha, I. D. (2009). *Planeamento e Gestão da Infra-Estrutura Viária Urbana - O Caso da Póvoa do Varzim (dissertação de mestrado)*. Braga: Universidade do Minho.
- DNIT, & UFSC. (2007). *Pré-avaliação dos equipamentos disponíveis para utilização nas pesagens*. Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Electronic Design. (Novembro de 2008). *Ultracapacitors Branch Out Into Wider Markets*. Obtido em 23 de Fevereiro de 2012, de Electronic Design - The authority on emerging technologies for design solutions: <http://electronicdesign.com/article/power/ultracapacitors-branch-out-into-wider-markets20034.aspx>
- Erhunmwunsee, P. O. (Novembro de 1991). Estimating Average Annual Daily Traffic Flow From Short Period Traffic Counts. *ITE Journal*, 61, 23-30.
- Estradas de Portugal, S.A. (2012). *Empreendimentos - Estudos de tráfego, Impressos 2, 3A e 3B - Verso*. Obtido em 9 de Março de 2012, de EP - Estradas de Portugal, S.A.: <http://www.estradasdeportugal.pt/index.php/en/areas-de-atuacao/empreendimentos/15-downloads>
- FHWA. (4 de Maio de 2001). *Traffic Monitoring Guide*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- França, J. A. (1980). *Lisboa: Urbanismo e Arquitectura*. Amadora: Instituto de Cultura e Língua Portuguesa.
- Gadda, S. C., Kockelman, K. M., & Magoon, A. (2007). Estimates of AADT: Quantifying the Uncertainty. *World Conference on Transportation Research*. Berkeley, California.
- Girão, P. S., Alegria, F., Viegas, J. M., Lu, B., & Vieira, J. (2006). Wireless System for Traffic Control and Law Enforcement. *IEEE International Conference on Industrial Technology*. Mumbai: IEEE.
- Grimm, A. M. (1999). *Radiação electromagnética*. Obtido em 1 de Março de 2012, de Meteorologia Básica - Notas de Aula: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html>
- Hallenbeck, M., & Weinblatt, H. (2004). *Equipment for collecting traffic load data*. Washington: Transportation Research Board.

- Halvorsen, D., & Motzko, F. (2000). Fiber Optic Traffic Sensors. *North American Travel Monitoring Exposition and Conference*. Middleton: National Transportation Library.
- IMTT. (2011). Contagens e Inquéritos de Tráfego. *Colecção de brochuras técnicas/temáticas*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P.
- IMTT, b. (Março de 2011). *Rede Viária - Princípios de planeamento e desenho*. Obtido em 25 de Agosto de 2012, de IMTT - Colecção de brochuras técnicas/temáticas: [http://www.conferenciamobilidade.imtt.pt/pacmob/rede\\_viaria/Rede\\_Viaria\\_Principios\\_de\\_Planeamento\\_e\\_Desenho\\_Marco2011.pdf](http://www.conferenciamobilidade.imtt.pt/pacmob/rede_viaria/Rede_Viaria_Principios_de_Planeamento_e_Desenho_Marco2011.pdf)
- Jamar technologies. (n.d.). *Proper Road Tube Use and Installation*. Retrieved Fevereiro 15, 2012, from <http://www.jamartech.com/H04000.html>
- Jiang, X., Vaziri, S. H., Haas, C., Rothenburg, L., Kennepohl, G., & Haas, R. (2009). Improvements in Piezoelectric Sensors and WIM Data Collection Technology . *Annual Conference of the Transportation Association of Canada* (p. 17). Vancouver: Transportation Association of Canada .
- Klein, L. A., Mills, M., & Gibson, D. R. (2006). *Traffic Detector Handbook: Third edition-Volume II*. Mclean: Federal Highway Administration.
- Klein, L., Mills, M., & Gibson, D. (2006). *Traffic Detector Handbook: Third Edition - Volume I*. USA: Federal Highway Administration.
- Knaian, A. N. (2000). *A Wireless Sensor Network for Smart Roadbeds and Intelligent Transportation Systems* . Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology .
- Leduc, G. (2008). *Road Traffic Data: Collection Methods and applications*. Seville: Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies.
- Martínez, L. G. (2006). *TAZ Delineation and Information Loss in Transportation Planning Studies - Dissertação de Mestrado* . Lisboa: IST-UTL.
- Measurement Specialties. (2011). *Traffic Sensor - RoadTrax BL Piezo Sensors*. Obtido em 22 de Fevereiro de 2012, de [http://www.meas-spec.com/product/t\\_product.aspx?id=4725](http://www.meas-spec.com/product/t_product.aspx?id=4725)
- Mesquita, M. D. (Dezembro de 2008). Lisboa no século 19 - Intervenções urbanas. *PÓS - Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, pp. 196-212.
- Mimbela, L., & Klein, L. (2000). *A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems*. Fall: The Vehicle Detector Clearinghouse.

- MS Sedco. (2010). *TC 30 Installation Instructions*. Obtido em 6 de Março de 2012, de MS Sedco: [http://www.mssedco.com/tc30\\_sensor.htm](http://www.mssedco.com/tc30_sensor.htm)
- NASA. (2012). *Measuring the Temperature of the Sky and Clouds*. Obtido em 1 de Março de 2012, de National Aeronautics and Space Administration: <http://mydasdata.larc.nasa.gov/P18.html>
- Padmavathi, G., & al, e. (Fevereiro de 2010). A Study on Vehicle Detection and Tracking Using Wireless Sensor Networks. *Wireless Sensor Network*, pp. 173-185.
- Rodrigue, J.-P. (2011). *The geography of transport systems*. Obtido em 15 de Fevereiro de 2012, de [http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/meth9en/pneumatic\\_road\\_tube\\_counter.html](http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch9en/meth9en/pneumatic_road_tube_counter.html)
- Seco, Á., & Ribeiro, A. (2003). *Gestão e Controlo do Tráfego*. Obtido em 24 de Agosto de 2012, de Projecto PORTAL - material pedagógico sobre transportes: [http://www.eu-portal.net/material/downloadarea/kt2\\_wm\\_pt.pdf](http://www.eu-portal.net/material/downloadarea/kt2_wm_pt.pdf)
- Sharma, S. C., Gulati, B. M., & Rizak, N. S. (1996). Statewide Traffic Volume Studies and Precision of AADT Estimates. *Journal of transportation engineering*, 430-439.
- SICIT. (12 de Julho de 2012). *Sistema Integrado de Controlo e Informação de Tráfego*. Obtido de <http://telematica.estradasdeportugal.pt/pls/alqueva/f?p=105:1:0:::>
- SmarTek Systems Inc. (2008). *SAS-I Passive Acoustic Detector (PAD)*. Obtido em 5 de Março de 2012, de SmarTek Systems Inc.: <http://www.smarteksys.com/SASpad.html>
- Szary, P., & Maher, A. (2009). *Implementation of Weigh-in-Motion (WIM) Systems*. Trenton: New Jersey Department of Transportation Bureau of Research.
- Vasconcelos, A. P. (2004). *Modelos de atribuição/simulação de tráfego: O impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação - Dissertação de Mestrado*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Via Verde. (2012). *Via Verde*. Obtido em 7 de Março de 2012, de Como funciona a Via Verde: <http://www.viaverde.pt/Website/Section.jsf?TopFolderPath=\Root\Contents\Website\Produtos\Servicos&SelectedSubFolderId=109&Locale=pt-PT>
- Vieira Gomes, S. (2010). *Avaliação da Influência da Infra-Estrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano - Tese de Doutoramento*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Vieira Gomes, S., Carvalheira, C., Cardoso, J., & Picado Santos, L. (2011). *Método para intervenção na infra-estrutura rodoviária urbana para melhoria da segurança*. Resultados do Projecto IRUMS. Lisboa: Informação científica 6/2011 - NPTS.

Vieira Gomes, S., Picado Santos, L., Cardoso, J., & Carvalheira, C. (2011). *Estado da arte sobre medidas de segurança rodoviária em ambiente urbano e sobre modelos de previsão de acidentes*. Resultados do Projecto IRUMS. Lisboa: Informação científica 7/2011 - NPTS.

Vieira, M. A. (2004). *Melhoria da Velocidade dos Transportes Públicos de Superfície em Lisboa por Regulação da Admissão de Trânsito*. Lisboa: IST.



## **ANEXOS**





## Anexo I – Volumes de tráfego médios para os grupos de postos de contagem

### • Rede de 1º nível

		Valores médios de tráfego para estradas de 1º nível e 3 vias por sentido																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TMD
Valores médios horários	SEG	533	266	146	109	141	289	856	2550	3448	2990	2353	2160	2185	2189	2390	2386	2629	3275	3470	2997	2145	1415	1151	923	42996
	TER	549	243	140	133	138	268	781	2472	3385	2832	2183	1990	2077	2038	2205	2254	2472	3028	3263	2867	2086	1435	1167	966	40971
	QUA	553	263	155	117	141	251	730	2334	3127	2678	2143	2038	2113	2088	2325	2385	2625	3199	3404	3002	2296	1534	1264	1051	41817
	QUI	633	292	160	130	150	274	755	2403	3444	2940	2312	2126	2205	2148	2393	2457	2658	3283	3497	3075	2399	1604	1373	1139	43848
	SEX	712	343	202	164	172	286	767	2364	3155	2812	2194	2033	2198	2213	2443	2583	2786	3171	3249	2970	2451	1741	1479	1264	43751
	SAB	874	529	323	253	257	301	510	976	1378	1744	1959	2073	2132	2007	1962	2159	2228	2283	2260	2208	1840	1322	1243	1240	34060
	DOM	938	563	404	309	283	289	357	517	677	937	1200	1451	1704	1603	1631	1905	2036	2002	2156	2032	1744	1415	1240	930	28324
																							TMDA		39395	

### • Rede de 2º nível

		Valores médios de tráfego para estradas de 2º nível e 2 vias por sentido																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TMD
Valores médios horários	SEG	359	254	210	161	129	160	313	757	1058	1040	932	926	957	920	990	1069	1144	1276	1284	1176	918	690	575	474	17771
	TER	336	168	123	100	92	142	331	845	1241	1215	1090	1084	1106	1042	1135	1206	1283	1411	1419	1265	987	699	606	498	19423
	QUA	337	182	127	89	90	168	386	938	1371	1337	1168	1127	1137	1069	1167	1223	1287	1419	1464	1342	1083	771	648	537	20465
	QUI	417	229	148	116	107	159	330	860	1272	1279	1143	1104	1116	1046	1165	1224	1296	1422	1448	1321	1089	791	662	575	20320
	SEX	438	249	156	113	107	149	344	943	1370	1333	1178	1155	1195	1122	1228	1296	1380	1493	1466	1365	1209	908	755	717	21668
	SAB	626	399	292	231	203	211	272	416	576	739	813	887	964	968	898	978	1013	1017	998	952	831	648	559	600	16092
	DOM	591	413	301	254	213	207	228	275	324	434	557	651	764	744	737	882	946	974	996	922	751	627	575	472	13836
TMDA																									18511	

		Valores médios de tráfego para estradas de 2º nível e 3 vias por sentido																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TMD
Valores médios horários	SEG	459	342	233	169	149	180	323	877	1374	1309	1197	1228	1298	1278	1383	1445	1533	1659	1637	1539	1266	937	796	660	23270
	TER	478	259	175	136	123	157	326	943	1462	1396	1275	1317	1377	1325	1441	1499	1565	1634	1606	1534	1240	893	810	692	23663
	QUA	493	258	178	125	115	162	342	992	1577	1530	1402	1382	1474	1413	1525	1554	1621	1741	1699	1586	1410	1030	906	763	25277
	QUI	609	361	256	199	175	201	361	919	1455	1440	1345	1330	1418	1363	1459	1521	1607	1695	1669	1562	1401	1051	870	803	25069
	SEX	635	362	239	182	154	182	357	985	1583	1525	1421	1420	1506	1430	1534	1548	1620	1707	1652	1515	1481	1177	984	945	26146
	SAB	858	633	491	405	361	310	353	491	689	845	953	1072	1196	1198	1110	1208	1245	1232	1239	1178	1052	819	707	810	20455
	DOM	824	640	537	448	392	321	296	310	345	451	583	725	874	889	884	1049	1118	1128	1200	1107	905	763	704	606	17098
																							TMDA	22997		

- Rede de 3º nível

		Valores médios de tráfego para estradas de 3º nível e 1 via por sentido																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TMD
Valores médios horários	SEG	236	107	115	77	77	139	250	461	695	786	849	861	863	812	867	950	911	890	820	740	723	591	493	356	13666
	TER	272	132	85	56	64	124	237	464	735	823	831	879	860	807	870	915	874	847	835	801	731	545	464	353	13601
	QUA	242	116	65	43	59	124	256	520	792	917	969	981	950	849	919	971	941	907	901	876	880	650	518	421	14866
	QUI	372	198	117	68	74	139	236	479	712	846	950	953	922	836	860	919	951	912	923	872	855	733	543	476	14944
	SEX	361	186	102	63	63	139	259	516	781	900	946	1012	962	901	934	883	840	873	916	905	986	975	732	720	15954
	SAB	645	393	233	142	128	132	212	316	440	649	804	882	841	743	703	741	830	805	741	711	827	777	575	657	13928
	DOM	727	431	265	154	115	99	124	167	201	277	372	510	514	506	541	704	712	649	616	563	499	448	396	312	9903
																							TMDA		13837	

		Valores médios de tráfego para estradas de 3º nível e 2 vias por sentido																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TMD
Valores médios horários	SEG	251	187	128	92	90	139	250	501	803	734	673	685	722	753	774	790	838	878	878	801	667	546	562	425	13169
	TER	280	162	109	81	69	120	201	537	949	953	880	906	943	878	922	969	970	1007	1008	923	749	603	517	443	15178
	QUA	281	155	103	69	56	96	198	555	1026	1035	918	892	881	845	930	967	1003	1004	997	915	754	552	486	413	15132
	QUI	330	207	142	106	80	115	207	532	970	998	900	898	914	855	954	1026	1058	1062	1045	932	785	614	512	470	15712
	SEX	354	201	134	102	117	179	289	615	1093	1068	987	1009	1016	904	988	1085	1069	1080	1109	997	855	683	567	526	17029
	SAB	480	335	247	200	168	183	213	302	433	606	691	788	868	810	770	772	803	792	833	794	713	549	476	524	13350
	DOM	473	342	265	208	160	164	213	267	298	286	355	438	535	584	554	612	667	685	714	689	575	488	534	412	10516
																							TMDA		14298	

- **Períodos utilizados na recolha de volumes de tráfego horários**

Rede de 1º nível	
Recolha de dados – Ano 2011	
Mês	Período
Janeiro	10 a 16
Fevereiro	7 a 13
Março	7 a 13
Abril	11 a 17
Maio	9 a 15
Junho	6 a 12
Julho	11 a 17
Agosto	8 a 14
Setembro	5 a 11
Outubro	10 a 16
Novembro	7 a 13
Dezembro	12 a 18

Redes de 2º e 3º níveis	
Recolha de dados - Ano 2007	
Mês	Período
Janeiro	1 a 7
Fevereiro	1 a 7
Março	1 a 7
Maio	1 a 7
Julho	1 a 7
Setembro	1 a 7
Novembro	1 a 7



## Anexo II – Factores de ajustamento (quadros complementares)

### Parte a) Factores de ajustamento horários

- Rede de 1º nível

	Factores horários para estradas de 1º nível e 3 vias por sentido																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	3,4	6,7	12,2	16,5	12,7	6,2	2,1	0,7	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,6	0,8	1,3	1,6	1,9
TER	3,1	7,0	12,2	12,8	12,4	6,4	2,2	0,7	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	1,2	1,5	1,8
QUA	3,1	6,6	11,3	14,9	12,3	6,9	2,4	0,7	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7
QUI	2,9	6,3	11,4	14,1	12,2	6,7	2,4	0,8	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6
SEX	2,6	5,3	9,0	11,1	10,6	6,4	2,4	0,8	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4
SAB	1,6	2,7	4,4	5,6	5,5	4,7	2,8	1,5	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1
DOM	1,3	2,1	2,9	3,8	4,2	4,1	3,3	2,3	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3
$\overline{F_H}$	2,6	5,3	9,1	11,3	10,0	5,9	2,5	1,1	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5

- Rede de 2º nível

Factores de ajustamento horários para estradas de 2º nível e 2 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,1	2,9	3,5	4,6	5,8	4,6	2,4	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6
TER	2,4	4,8	6,6	8,1	8,8	5,7	2,4	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,2	1,3	1,6
QUA	2,5	4,7	6,7	9,6	9,5	5,1	2,2	0,9	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6
QUI	2,0	3,7	5,7	7,3	7,9	5,3	2,6	1,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5
SEX	2,1	3,6	5,8	8,0	8,5	6,1	2,6	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	1,2	1,3
SAB	1,1	1,7	2,3	2,9	3,3	3,2	2,5	1,6	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	1,1
DOM	1,0	1,4	1,9	2,3	2,7	2,8	2,5	2,1	1,8	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2
$\overline{F_H}$	1,9	3,3	4,6	6,1	6,6	4,7	2,5	1,2	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,2	1,4

Factores de ajustamento horários para estradas de 2º nível e 3 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,1	2,8	4,2	5,7	6,5	5,4	3,0	1,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
TER	2,1	3,8	5,6	7,3	8,0	6,3	3,0	1,0	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,1	1,2	1,4
QUA	2,1	4,1	5,9	8,4	9,1	6,5	3,1	1,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	1,2	1,4
QUI	1,7	2,9	4,1	5,2	6,0	5,2	2,9	1,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	1,2	1,3
SEX	1,7	3,0	4,6	6,0	7,1	6,0	3,1	1,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	1,1	1,2
SAB	1,0	1,3	1,7	2,1	2,4	2,7	2,4	1,7	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	1,1
DOM	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,4	2,3	2,1	1,6	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2
$\overline{F_H}$	1,7	2,7	3,9	5,2	5,8	4,9	2,8	1,4	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3

- Rede de 3º nível

Factores de ajustamento horários para estradas de 3º nível e 1 via por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,4	5,3	5,0	7,4	7,4	4,1	2,3	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	1,2	1,6
TER	2,1	4,3	6,7	10,2	8,8	4,6	2,4	1,2	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6
QUA	2,6	5,3	9,5	14,5	10,5	5,0	2,4	1,2	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,2	1,5
QUI	1,7	3,1	5,3	9,2	8,4	4,5	2,6	1,3	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,1	1,3
SEX	1,8	3,6	6,5	10,6	10,5	4,8	2,6	1,3	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9
SAB	0,9	1,5	2,5	4,1	4,5	4,4	2,7	1,8	1,3	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	1,0	0,9
DOM	0,6	1,0	1,6	2,7	3,6	4,2	3,3	2,5	2,1	1,5	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3
$\overline{F_H}$	1,7	3,4	5,3	8,4	7,7	4,5	2,6	1,5	1,1	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1,1	1,3

Factores de ajustamento horários para estradas de 3º nível e 2 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,2	2,9	4,3	5,9	6,1	3,9	2,2	1,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,3
TER	2,3	3,9	5,8	7,8	9,2	5,3	3,2	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
QUA	2,2	4,1	6,1	9,1	11,3	6,6	3,2	1,1	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,1	1,3	1,5
QUI	2,0	3,2	4,6	6,2	8,2	5,7	3,2	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,1	1,3	1,4
SEX	2,0	3,5	5,3	7,0	6,1	4,0	2,5	1,2	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,3
SAB	1,2	1,7	2,3	2,8	3,3	3,0	2,6	1,8	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	1,1
DOM	0,9	1,3	1,7	2,1	2,7	2,7	2,1	1,6	1,5	1,5	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	1,1
$\overline{F_H}$	1,8	2,9	4,3	5,8	6,7	4,4	2,7	1,3	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3





### Anexo III – Valores de cálculo para a extensão da metodologia

- Rede de 1º nível

% horária do TMD em estradas de 1º nível e 3 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	1,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,7	2,0	5,9	8,0	7,0	5,5	5,0	5,1	5,1	5,6	5,5	6,1	7,6	8,1	7,0	5,0	3,3	2,7	2,1
TER	1,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,7	1,9	6,0	8,3	6,9	5,3	4,9	5,1	5,0	5,4	5,5	6,0	7,4	8,0	7,0	5,1	3,5	2,8	2,4
QUA	1,3	0,6	0,4	0,3	0,3	0,6	1,7	5,6	7,5	6,4	5,1	4,9	5,1	5,0	5,6	5,7	6,3	7,7	8,1	7,2	5,5	3,7	3,0	2,5
QUI	1,4	0,7	0,4	0,3	0,3	0,6	1,7	5,5	7,9	6,7	5,3	4,8	5,0	4,9	5,5	5,6	6,1	7,5	8,0	7,0	5,5	3,7	3,1	2,6
SEX	1,6	0,8	0,5	0,4	0,4	0,7	1,8	5,4	7,2	6,4	5,0	4,6	5,0	5,1	5,6	5,9	6,4	7,2	7,4	6,8	5,6	4,0	3,4	2,9
SAB	2,6	1,6	0,9	0,7	0,8	0,9	1,5	2,9	4,0	5,1	5,8	6,1	6,3	5,9	5,8	6,3	6,5	6,7	6,6	6,5	5,4	3,9	3,6	3,6
DOM	3,3	2,0	1,4	1,1	1,0	1,0	1,3	1,8	2,4	3,3	4,2	5,1	6,0	5,7	5,8	6,7	7,2	7,1	7,6	7,2	6,2	5,0	4,4	3,3
Média	1,8	1,0	0,6	0,5	0,5	0,7	1,7	4,7	6,5	6,0	5,2	5,1	5,4	5,2	5,6	5,9	6,4	7,3	7,7	6,9	5,5	3,9	3,3	2,8

- Rede de 2º nível

% horária do TMD em estradas de 2º nível e 2 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,0	1,4	1,2	0,9	0,7	0,9	1,8	4,3	6,0	5,9	5,2	5,2	5,4	5,2	5,6	6,0	6,4	7,2	7,2	6,6	5,2	3,9	3,2	2,7
TER	1,7	0,9	0,6	0,5	0,5	0,7	1,7	4,4	6,4	6,3	5,6	5,6	5,7	5,4	5,8	6,2	6,6	7,3	7,3	6,5	5,1	3,6	3,1	2,6
QUA	1,6	0,9	0,6	0,4	0,4	0,8	1,9	4,6	6,7	6,5	5,7	5,5	5,6	5,2	5,7	6,0	6,3	6,9	7,2	6,6	5,3	3,8	3,2	2,6
QUI	2,1	1,1	0,7	0,6	0,5	0,8	1,6	4,2	6,3	6,3	5,6	5,4	5,5	5,1	5,7	6,0	6,4	7,0	7,1	6,5	5,4	3,9	3,3	2,8
SEX	2,0	1,1	0,7	0,5	0,5	0,7	1,6	4,4	6,3	6,2	5,4	5,3	5,5	5,2	5,7	6,0	6,4	6,9	6,8	6,3	5,6	4,2	3,5	3,3
SAB	3,9	2,5	1,8	1,4	1,3	1,3	1,7	2,6	3,6	4,6	5,1	5,5	6,0	6,0	5,6	6,1	6,3	6,3	6,2	5,9	5,2	4,0	3,5	3,7
DOM	4,3	3,0	2,2	1,8	1,5	1,5	1,7	2,0	2,3	3,1	4,0	4,7	5,5	5,4	5,3	6,4	6,8	7,0	7,2	6,7	5,4	4,5	4,2	3,4
Média	2,5	1,6	1,1	0,9	0,8	1,0	1,7	3,8	5,4	5,5	5,2	5,3	5,6	5,4	5,6	6,1	6,5	6,9	7,0	6,4	5,3	4,0	3,4	3,0

% horária do TMD em estradas de 2º nível e 3 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	2,0	1,5	1,0	0,7	0,6	0,8	1,4	3,8	5,9	5,6	5,1	5,3	5,6	5,5	5,9	6,2	6,6	7,1	7,0	6,6	5,4	4,0	3,4	2,8
TER	2,0	1,1	0,7	0,6	0,5	0,7	1,4	4,0	6,2	5,9	5,4	5,6	5,8	5,6	6,1	6,3	6,6	6,9	6,8	6,5	5,2	3,8	3,4	2,9
QUA	2,0	1,0	0,7	0,5	0,5	0,6	1,4	3,9	6,2	6,1	5,5	5,5	5,8	5,6	6,0	6,1	6,4	6,9	6,7	6,3	5,6	4,1	3,6	3,0
QUI	2,4	1,4	1,0	0,8	0,7	0,8	1,4	3,7	5,8	5,7	5,4	5,3	5,7	5,4	5,8	6,1	6,4	6,8	6,7	6,2	5,6	4,2	3,5	3,2
SEX	2,4	1,4	0,9	0,7	0,6	0,7	1,4	3,8	6,1	5,8	5,4	5,4	5,8	5,5	5,9	5,9	6,2	6,5	6,3	5,8	5,7	4,5	3,8	3,6
SAB	4,2	3,1	2,4	2,0	1,8	1,5	1,7	2,4	3,4	4,1	4,7	5,2	5,8	5,9	5,4	5,9	6,1	6,0	6,1	5,8	5,1	4,0	3,5	4,0
DOM	4,8	3,7	3,1	2,6	2,3	1,9	1,7	1,8	2,0	2,6	3,4	4,2	5,1	5,2	5,2	6,1	6,5	6,6	7,0	6,5	5,3	4,5	4,1	3,5
Média	2,8	1,9	1,4	1,1	1,0	1,0	1,5	3,3	5,1	5,1	5,0	5,2	5,7	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	6,7	6,2	5,4	4,1	3,6	3,3

• Rede de 3º nível

% horária do TMD em estradas de 3º nível e 1 via por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	1,7	0,8	0,8	0,6	0,6	1,0	1,8	3,4	5,1	5,7	6,2	6,3	6,3	5,9	6,3	7,0	6,7	6,5	6,0	5,4	5,3	4,3	3,6	2,6
TER	2,0	1,0	0,6	0,4	0,5	0,9	1,7	3,4	5,4	6,0	6,1	6,5	6,3	5,9	6,4	6,7	6,4	6,2	6,1	5,9	5,4	4,0	3,4	2,6
QUA	1,6	0,8	0,4	0,3	0,4	0,8	1,7	3,5	5,3	6,2	6,5	6,6	6,4	5,7	6,2	6,5	6,3	6,1	6,1	5,9	5,9	4,4	3,5	2,8
QUI	2,5	1,3	0,8	0,5	0,5	0,9	1,6	3,2	4,8	5,7	6,4	6,4	6,2	5,6	5,8	6,1	6,4	6,1	6,2	5,8	5,7	4,9	3,6	3,2
SEX	2,3	1,2	0,6	0,4	0,4	0,9	1,6	3,2	4,9	5,6	5,9	6,3	6,0	5,6	5,9	5,5	5,3	5,5	5,7	5,7	6,2	6,1	4,6	4,5
SAB	4,6	2,8	1,7	1,0	0,9	0,9	1,5	2,3	3,2	4,7	5,8	6,3	6,0	5,3	5,0	5,3	6,0	5,8	5,3	5,1	5,9	5,6	4,1	4,7
DOM	7,3	4,3	2,7	1,6	1,2	1,0	1,3	1,7	2,0	2,8	3,8	5,1	5,2	5,1	5,5	7,1	7,2	6,6	6,2	5,7	5,0	4,5	4,0	3,2
Média	3,2	1,7	1,1	0,7	0,6	0,9	1,6	3,0	4,4	5,2	5,8	6,2	6,1	5,6	5,9	6,3	6,3	6,1	6,0	5,6	5,6	4,8	3,8	3,4

% horária do TMD em estradas de 3º nível e 2 vias por sentido																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SEG	1,9	1,4	1,0	0,7	0,7	1,1	1,9	3,8	6,1	5,6	5,1	5,2	5,5	5,7	5,9	6,0	6,4	6,7	6,7	6,1	5,1	4,1	4,3	3,2
TER	1,8	1,1	0,7	0,5	0,5	0,8	1,3	3,5	6,3	6,3	5,8	6,0	6,2	5,8	6,1	6,4	6,4	6,6	6,6	6,1	4,9	4,0	3,4	2,9
QUA	1,9	1,0	0,7	0,5	0,4	0,6	1,3	3,7	6,8	6,8	6,1	5,9	5,8	5,6	6,1	6,4	6,6	6,6	6,6	6,0	5,0	3,7	3,2	2,7
QUI	2,1	1,3	0,9	0,7	0,5	0,7	1,3	3,4	6,2	6,4	5,7	5,7	5,8	5,4	6,1	6,5	6,7	6,8	6,6	5,9	5,0	3,9	3,3	3,0
SEX	2,1	1,2	0,8	0,6	0,7	1,1	1,7	3,6	6,4	6,3	5,8	5,9	6,0	5,3	5,8	6,4	6,3	6,3	6,5	5,9	5,0	4,0	3,3	3,1
SAB	3,6	2,5	1,8	1,5	1,3	1,4	1,6	2,3	3,2	4,5	5,2	5,9	6,5	6,1	5,8	5,8	6,0	5,9	6,2	5,9	5,3	4,1	3,6	3,9
DOM	4,5	3,3	2,5	2,0	1,5	1,6	2,0	2,5	2,8	2,7	3,4	4,2	5,1	5,6	5,3	5,8	6,3	6,5	6,8	6,6	5,5	4,6	5,1	3,9
Média	2,6	1,7	1,2	0,9	0,8	1,0	1,6	3,3	5,4	5,5	5,3	5,5	5,8	5,6	5,9	6,2	6,4	6,5	6,6	6,1	5,1	4,1	3,7	3,3